



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS
DE UNIDADES DE BLOQUES DE CONCRETO CON UNIDADES DE BLOQUES
DE MORTERO.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Jorge Luis Rivas Vega
Br. Karla Lissette Rivera Martínez

Tutor

Msc. Ing. Silvia Lindo O'connors

Managua, octubre 2019

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a Dios por habernos regalado sabiduría para enfrentar exitosamente esta etapa de formación académica, a nuestros padres por el amor recibido y dedicación, por ser los principales promotores de nuestros sueños, nos han apoyado incondicionalmente y han sido nuestras guías. Gracias a nuestros hermanos y amigos que nos acompañaron durante todo el proceso. Gracias a ellos a quienes les debemos nuestros logros.

Agradecimiento especial

Se les agradece a todos los profesores de la Universidad Nacional de Ingeniería que contribuyeron en nuestra formación profesional, principalmente a la ingeniera Silvia Lindo O'connors quien nos asesoró, nos guio y brindó su apoyo incondicional para poder desarrollar esta investigación. Gracias por ser nuestra tutora y amiga.

Resumen

Las unidades de mampostería son elementos fabricados con mezclas que presentan un comportamiento físico y mecánico que les permite resistir cargas, sin embargo los bloques a base de cemento en nuestro país están siendo producidos con baja resistencia a la compresión comprometiendo la seguridad de las estructuras e incumpliendo con la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) 12 008 – 16 para fabricación de bloques a base de cemento. Es por ello que se hace necesario proponer alternativas de materiales incorporados a las mezclas para elaboración de bloques.

Este trabajo investigativo pretende comparar las propiedades físicas y mecánicas de unidades de bloques concreto y unidades de bloques de mortero y generar elementos capaces de resistir cargas mínimas a la compresión de 1714 psi como lo establece la NTON 12 008 – 16. Para ello desarrollaremos el trabajo por capítulos:

El Capítulo I define aspectos generales del concreto y el mortero, así como también, las propiedades de los materiales que lo componen. Detalla la definición y propiedades de los bloques fabricados a base de cemento.

En el Capítulo II se detalla la caracterización de los materiales utilizados en la elaboración de mezclas de mortero y concreto. En el desarrollo de este capítulo se describen las propiedades físicas del cemento, el agregado fino y grueso y se analizan los resultados de ensayos de laboratorio conforme a la normativa correspondiente.

El capítulo III se centra en el diseño de mezclas de mortero y concreto y la selección de las dosificaciones óptimas para fabricación de bloques con propiedades establecidas por la NTON.

El capítulo IV describe el proceso de fabricación de bloques de mortero y concreto, presenta el análisis de los resultados de ensayos de laboratorio y compara las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de bloques fabricadas.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

Índice

| | |
|--|----|
| Capítulo I: Aspectos Generales | 1 |
| 1.1 Introducción | 1 |
| 1.2 Objetivos | 3 |
| 1.2.1 Objetivo General | 3 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 3 |
| 1.3 Justificación | 4 |
| 1.4 Antecedentes | 5 |
| 1.5 Marco Teórico | 7 |
| 1.5.1 Concreto | 7 |
| 1.5.2 Mortero | 7 |
| 1.5.3 Materiales para concreto y mortero | 7 |
| 1.5.4 Bloque de mortero y concreto | 18 |
| Capítulo II: Caracterización de los agregados | 22 |
| 2.1 Fuentes de los materiales | 22 |
| 2.1.1 Cemento | 22 |
| 2.1.2 Agregado fino | 22 |
| 2.1.3 Agregado grueso | 23 |
| 2.2 Determinación de las propiedades del Cemento | 24 |
| 2.2.1 Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento | 24 |
| 2.2.2 Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja de Vicat | 26 |
| 2.2.3 Determinación del peso específico relativo del cemento hidráulico | 30 |
| 2.3 Muestreo y reducción de muestras de agregados | 31 |
| 2.4 Propiedades de los agregados | 31 |

| | |
|---|----|
| 2.4.1 Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso..... | 32 |
| 2.4.2 Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino | 34 |
| 2.4.3 Determinación de los pesos unitarios seco suelto y seco compacto de los agregados gruesos y finos | 36 |
| 2.4.4 Determinación del análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos..... | 40 |
| 2.4.5 Determinación de la resistencia al desgaste por cargas abrasivas, método de la máquina de los ángeles del agregado grueso | 47 |
| 2.4.6 Determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino..... | 49 |
| Capítulo III: Diseño de mezclas de concreto y mortero | 50 |
| 3.1 Diseño de mezclas de concreto | 50 |
| 3.1.1 Elaboración de mezclas de concreto..... | 59 |
| 3.1.2 Resultados de mezclas de concreto..... | 60 |
| 3.2 Diseño de mezclas de mortero | 66 |
| 3.2.1 Elaboración de mezclas de mortero | 73 |
| 3.2.2 Resultados de mezclas de mortero | 74 |
| Capítulo IV: Fabricación de bloques de mortero y concreto | 78 |
| 4.1 Esquema de fabricación de bloques de concreto y mortero | 80 |
| 4.1.1 Almacenamiento de los materiales | 80 |
| 4.1.2 Dosificación | 80 |
| 4.1.3 Elaboración de la mezcla | 83 |
| 4.1.4 Elaboración de los bloques..... | 83 |
| 4.1.5 Almacenamiento de los elementos..... | 84 |
| 4.1.6 Curado de los bloques | 85 |

| | |
|--|-----|
| 4.2 Determinación de las propiedades de bloques de mortero y concreto | 86 |
| 4.2.1 Dimensiones | 88 |
| 4.2.2 Absorción | 89 |
| 4.2.3 Resistencia a la compresión de bloques de concreto y mortero | 91 |
| 4.3 Análisis de las propiedades físicas de los bloques de concreto y mortero... | 98 |
| 4.3.1 Absorción | 98 |
| 4.3.2 Pesos | 99 |
| 4.4 Análisis de las propiedades mecánicas de los bloques de concreto y mortero | 101 |
| Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones | 103 |
| 5.1 Conclusiones | 103 |
| 5.2 Recomendaciones | 105 |
| Bibliografía | 106 |
| ANEXOS | 108 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Tipos de cemento..... | 8 |
| Tabla 2 Características del aparato Vicat | 9 |
| Tabla 3 Clasificación de los agregados | 11 |
| Tabla 4 Tipos de Granulometría | 16 |
| Tabla 5 Dimensiones de Fabricación de los bloques | 20 |
| Tabla 6 Resistencia a la compresión de los bloques huecos y sólidos | 21 |
| Tabla 7 Consistencia Normal del Cemento, Muestra 1 | 24 |
| Tabla 8 Consistencia Normal del Cemento, Muestra 2 | 25 |
| Tabla 9 Tiempo de fraguado del Cemento | 27 |
| Tabla 10 Comparación de los tiempos de fraguado del cemento | 29 |
| Tabla 11 Gravedad Específica del Cemento | 30 |
| Tabla 12 Datos para el cálculo de la gravedad específica del agregado grueso ... | 33 |
| Tabla 13 Resultados de la gravedad específica del agregado grueso | 33 |
| Tabla 14 Gravedad Específica del Agregado Fino | 36 |
| Tabla 15 Peso Volumétrico Seco Suelto de la Grava | 37 |
| Tabla 16 Peso Volumétrico Seco Suelto de la Arena | 37 |
| Tabla 17 Peso Volumétrico Seco Compacto de la Grava | 39 |
| Tabla 18 Peso Volumétrico Seco Compacto de la Arena..... | 39 |
| Tabla 19 Granulometría de la Grava, Muestra 1 | 41 |
| Tabla 20 Granulometría de la Grava, Muestra 2..... | 42 |
| Tabla 21 Granulometría de la Arena, Muestra 1 | 44 |
| Tabla 22 Granulometría de la Arena, Muestra 2 | 45 |
| Tabla 23 Porcentaje de Desgaste del agregado grueso | 47 |
| Tabla 24 Uso del agregado fino según contenido de impurezas orgánicas | 49 |
| Tabla 25 Propiedades de los componentes de las mezclas | 51 |
| Tabla 26 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:3:2 R a/c 0.7 ... | 57 |
| Tabla 27 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:3:2, R a/c 0.60 | 57 |
| Tabla 28 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:5:2, R a/c 0.70 | 58 |
| Tabla 29 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:5:2, R a/c 0.60 | 58 |
| Tabla 30 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:2:2, R a/c 0.60 | 58 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 31 Resistencia de cilindros de concreto..... | 61 |
| Tabla 32 Propiedades de los componentes de las mezclas de mortero | 66 |
| Tabla 33 Proporciones de mezclas de mortero | 70 |
| Tabla 34 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.40..... | 71 |
| Tabla 35 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.50..... | 71 |
| Tabla 36 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.65..... | 72 |
| Tabla 37 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:4 R a/c 0.40..... | 72 |
| Tabla 38 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:4 R a/c 0.50..... | 72 |
| Tabla 39 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:4 R a/c 0.65..... | 72 |
| Tabla 40 Resistencia de cubos de mortero. | 74 |
| Tabla 41 Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:4 | 81 |
| Tabla 42 Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3 | 81 |
| Tabla 43 Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3:2 | 82 |
| Tabla 44 Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:2:2 | 82 |
| Tabla 45 Área promedio de los bloques..... | 87 |
| Tabla 46 Dimensiones promedio de los bloques | 88 |
| Tabla 47 Absorción del bloque Proporción 1:3 | 89 |
| Tabla 48 Absorción del bloque Proporción 1:4 | 89 |
| Tabla 49 Absorción del bloque Proporción: 1:3:2 | 90 |
| Tabla 50 Absorción del bloque Proporción: 1:2:2 | 90 |
| Tabla 51 Resistencia a la compresión de bloques de mortero | 92 |
| Tabla 52 Resistencia promedio de bloques de mortero 1:3 | 93 |
| Tabla 53 Resistencia promedio de bloques de mortero 1:4 | 94 |
| Tabla 54 Resistencia a la compresión de bloques de concreto | 95 |
| Tabla 55 Resistencia promedio de bloques de concreto 1:3:2 | 96 |
| Tabla 56 Resistencia promedio de bloques de concreto 1:2:2 | 97 |
| Tabla 57 Peso de los bloques de mortero..... | 99 |
| Tabla 58 Peso de los bloques de concreto | 100 |

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Banco de Material “Los Martínez” | 12 |
| Ilustración 2 Banco de Materiales “Veracruz” AGRENIC, Nindirí..... | 13 |
| Ilustración 3 Bloque de concreto | 19 |
| Ilustración 4 Ubicación del Banco de Material “Los Martínez” | 22 |
| Ilustración 5 Ubicación del banco AGRENIC | 23 |
| Ilustración 6 Determinación del tiempo de fraguado del cemento | 26 |
| Ilustración 7 Proceso de muestreo para agregado grueso..... | 31 |
| Ilustración 8 Proceso de muestreo para agregado fino | 31 |
| Ilustración 9 Determinación de la gravedad específica del agregado grueso | 32 |
| Ilustración 10 Determinación de la gravedad específica del agregado fino..... | 34 |
| Ilustración 11 PVSS del agregado grueso | 38 |
| Ilustración 12 PVSS del agregado fino..... | 38 |
| Ilustración 13 Tamices para la determinación de granulometría..... | 43 |
| Ilustración 14 Gradación de la grava | 43 |
| Ilustración 15 Extracción de material de la Máquina de Los Ángeles | 48 |
| Ilustración 16 Material desgastado en La Máquina de Los Ángeles | 48 |
| Ilustración 17 Determinación de contenido de impurezas orgánicas | 49 |
| Ilustración 18 Agregado grueso para fabricación de mezcla de concreto | 59 |
| Ilustración 19 Mezcla de concreto | 59 |
| Ilustración 20 Encofrado de cilindros de concreto | 60 |
| Ilustración 21 Desencofrado de cilindros de concreto | 60 |
| Ilustración 22 Fabricación de cubos de mortero | 73 |
| Ilustración 23 Cubos de mortero..... | 73 |
| Ilustración 24 Flujograma de Producción de bloques | 79 |
| Ilustración 25 Bloques | 84 |
| Ilustración 26 Curado de bloques | 85 |
| Ilustración 27 Procedimiento para determinar el área de los bloques | 87 |

Índice de gráficos

| | |
|--|-----|
| Gráfico 1 Consistencia Normal del Cemento, Muestra 1 | 24 |
| Gráfico 2 Consistencia Normal del cemento, Muestra 2 | 25 |
| Gráfico 3 Tiempo de Fraguado del cemento, Muestra 1 | 28 |
| Gráfico 4 Curva Granulométrica Grava, Muestra 1 | 41 |
| Gráfico 5 Curva Granulométrica Grava, Muestra 2 | 42 |
| Gráfico 6 Curva Granulométrica Arena, Muestra 1 | 44 |
| Gráfico 7 Curva Granulométrica Arena, Muestra 2 | 45 |
| Gráfico 8 Resistencia a la compresión del concreto para proporción 1:3:2 | 62 |
| Gráfico 9 Selección de la relación a/c óptima para concreto | 63 |
| Gráfico 10 Resistencia a la compresión del concreto para proporción 1:5:2 | 64 |
| Gráfico 11 Resistencia a la compresión del concreto para proporción 1:2:2 | 65 |
| Gráfico 12 Resistencia a la compresión del mortero proporción 1:3 | 75 |
| Gráfico 13 Selección de Relación a/c óptima para mortero | 76 |
| Gráfico 14 Resistencia a la compresión del mortero, proporción 1:4 | 77 |
| Gráfico 15 Resistencia a la compresión de bloques de mortero 1:3 | 93 |
| Gráfico 16 Resistencia a la compresión de bloques de mortero 1:4 | 94 |
| Gráfico 17 Resistencia a la compresión de bloques de concreto 1:3:2 | 96 |
| Gráfico 18 Resistencia a la compresión de bloques de concreto 1:2:2 | 97 |
| Gráfico 19 Comparación de resistencias a la compresión de bloques de concreto y mortero..... | 101 |

Capítulo I: Aspectos Generales

1.1 Introducción

Los bloques de concreto siguen siendo el sistema constructivo más utilizado en nuestro país. Entre las razones principales de su alta aceptación en el mercado de la construcción, están la facilidad y práctica constructiva, así como la estabilidad y la buena conformación estructural.

La calidad de los bloques de concreto depende de cada etapa del proceso de fabricación, fundamentalmente de la cuidadosa selección de los agregados, la correcta determinación de la dosificación, un buen control en la elaboración específicamente durante el mezclado, moldeo y compactación y de un adecuado curado.

En años anteriores, el Instituto del Cemento y el Concreto (INCYC) en colaboración con el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) han llevado a cabo análisis de la resistencia a la compresión de bloques que han sido elaborados por fábricas en la ciudad de Managua, registrando que en su mayoría incumplen con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) en su designación 12 008 – 16.

Es por ello, que se desarrolla el “Estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de unidades de bloques de concreto con unidades de bloques de mortero” cuyo objetivo es presentar una propuesta de fabricación de bloques incorporando a la mezcla grava de 3/8” y comparar su comportamiento con bloques elaborados a base de mezclas de mortero. El propósito es generar un elemento (bloque) que cumpla con los requerimientos establecidos por las normativas nacionales.

Para ello, el documento se desarrolla en capítulos, el primero que define los aspectos generales del estudio. En el capítulo dos se muestra el inicio del proceso investigativo, partiendo del muestreo de los materiales componentes de mezclas de mortero y concreto, la caracterización de éstos materiales a través de ensayos de laboratorio basados en procedimientos estandarizados por normativas ASTM correspondientes.

A partir de los resultados obtenidos de la caracterización de los agregados y el aglomerante, en el capítulo 3 se presentan diseños de mezclas de prueba de mortero y concreto, se detalla el proceso de elaboración de dichas mezclas y se le realizan pruebas de resistencias a la compresión, que permitan identificar su comportamiento y seleccionar la condición óptima (proporción y relación agua – cemento) para la fabricación de bloques.

La etapa final del estudio, contempla la fabricación de bloques de mortero y concreto, determinar sus propiedades físicas y mecánicas y realizar un análisis basado en estos resultados. A partir de ello, se generan conclusiones y recomendaciones sobre el tema en estudio.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Comparar las propiedades físicas y mecánicas de unidades de bloques de concreto y unidades de bloques de mortero.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los componentes de la mezcla de concreto y mortero.
- Realizar diseños de mezclas de concreto y mortero y definir condiciones óptimas de las mezclas para la fabricación de bloques.
- Determinar propiedades físicas y mecánicas de bloques de concreto y bloques de mortero.
- Comparar y analizar el comportamiento físico y mecánico de los bloques de concreto y los bloques de mortero.

1.3 Justificación

El bloque es la unidad básica empleado en las construcciones de mampostería de concreto, sistema constructivo que por muchos años ha tenido aplicación en todo tipo de proyecto en Nicaragua. Éstos elementos deben poseer alta resistencia a la compresión de manera tal, que las construcciones sean resilientes ante fenómenos naturales.

Sin embargo, en nuestro país la mayoría de fábricas de bloques no están elaborando productos que cumplan con los requerimientos establecidos por la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) 12 008 – 16.

Ante esta problemática, surge la iniciativa de proponer un bloque elaborado con mezclas de concreto con agregado grueso de 3/8", investigar su comportamiento y compararlo con bloques fabricados con mezclas de mortero.

Con el desarrollo de este estudio, se pretende identificar si existe una aportación a la resistencia a la compresión que ofrecen los bloques, cuando se le incluye como componente el agregado grueso a la mezcla.

Los resultados de esta investigación, podrían constituir una alternativa para que los productores de bloques mejoren la calidad de los elementos que están fabricando, por ende verse beneficiado el sector construcción que demanda de éste producto y finalmente el usuario quien podría contar con un elemento que le brinde mayor seguridad a sus construcciones.

1.4 Antecedentes

Las estructuras a base de bloques forman parte de uno de los primeros sistemas ideados por el hombre para la construcción; los primeros bloques fueron elaborados a mano y su proceso de producción ha tenido una evolución verdaderamente lenta.

A principios del siglo XX aparecieron los primeros bloques huecos para muros; la ligereza de estos nuevos elementos significó un gran adelanto para el área de la construcción en relación a las etapas anteriores.

Las primeras máquinas que se utilizaron en la industria se limitaban a simples moldes metálicos en los cuales se compactaba la mezcla manualmente, tiempo después se descubrió la conveniencia de la compactación basada en vibración y compresión y actualmente, las más modernas y eficientes máquinas para la elaboración de bloques de concreto utilizan el sistema de vibro compactación.

A raíz del terremoto ocurrido en Managua en el año 1972 surgió en nuestro país la necesidad de mejorar estos productos para disminuir la vulnerabilidad de las construcciones ante los riesgos sísmicos. En 1973 el gobierno promulgó el “Reglamento de materiales de Construcción y uso de los mismos” obligando a los fabricantes a realizar controles de calidad.

Los procesos de producción de bloques, no han cambiado mucho en los últimos años, especialmente en las fábricas de nuestro país. En la actualidad los métodos de elaboración de bloques se llevan a cabo principalmente en fábricas semi industriales mediante un proceso mecanizado en el cual los materiales se mezclan en máquinas, luego vacían la mezcla en moldes y finalmente curan el bloque por secado al aire libre o en algunos casos en una cámara de curado; cabe destacar que también existen fábricas artesanales donde los bloques son fabricados a mano y como consecuencia no existe un control en su proceso productivo.

Los elementos resultantes de la mayoría de fábricas distribuidoras, están hechos a base de mezclas de mortero, es decir con agregado fino, material cementante y agua y aunque estos materiales constituyentes posean propiedades adecuadas según normativas de caracterización de agregados, no están generando bloques que cumplan con la resistencia mínima de 1714 PSI a los 28 días exigida por la NTON 12 008 – 16 para bloques fabricados a base de cemento.

Por otro lado, hay que resaltar que no se encontró bibliografía que registre estudios que en Nicaragua se han fabricado y analizado bloques con la inclusión de agregado grueso como componente de la mezcla.

1.5 Marco Teórico

1.5.1. Concreto

Concreto es una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados que se juntan con una pasta de cemento y agua para conformar una masa semejante a una roca. Algunas veces uno o más aditivos son agregados para cambiar ciertas características del concreto como lo es su trabajabilidad, durabilidad y tiempo de endurecimiento. Como una sustancia muy parecida a la roca, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión. (Design of reinforced Concrete 10ed - McCormack)

1.5.2 Mortero

Se entiende como mortero en la construcción, toda masa hecha con una mezcla de arena, agua y conglomerante, es decir, el material que une, pega o aglomera otros materiales. La mezcla de los morteros más comunes se hace con cemento, yeso o cal. A esta mezcla se le puede añadir diversos aditivos que modifican o potencian las propiedades originales de los materiales. Entre los aditivos más utilizados están los plastificantes, los emulsionantes, aceleradores del fraguado o los impermeabilizantes.

1.5.3 Materiales para concreto y mortero

1.5.3.1 Cemento

La Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense sobre Fabricación, uso y manejo del cemento NTON 12 006 - 11 sección 3.5 define el cemento hidráulico como “Cemento que reacciona y endurece por interacción química con el agua y que puede hacerlo aún bajo ella”.

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. (IECA)

- Composición y fabricación del cemento

El cemento está compuesto principalmente por Clinker, que tiene como principales materias primas: la roca caliza (85%) y arcillas ricas en hierro y sílice (15%). Al clinker se le adiciona cierta cantidad de yeso para regular el tiempo de fraguado y con ello se obtiene el cemento de color gris. (CFE, 2001)

En la fabricación del cemento, existen dos procedimientos de homogenización de las materias primas: en seco y en húmedo. El Instituto Mexicano del Concreto y el Cemento (IMCYC) resume el proceso de fabricación del cemento en seco, que es el utilizado en las plantas procesadoras de cementos en Nicaragua.

Primeramente, se extraen las materias primas (calizas y arcillas) de la cantera y se transportan a la planta para luego ser trituradas, luego se mezclan en cantidades adecuadas en una etapa de pre-homogenización, a continuación, el material es almacenado para recibir minerales de hierro y caliza correctiva alta; se dosifica dependiendo de qué tipo de cemento se necesita. En el molino de crudo se pulveriza el material, luego pasa al silo de homogenización y con altas temperaturas, la harina se transforma en Clinker. Posteriormente, al Clinker se le añade yeso y se reduce a polvo. Por último, se empaca para su comercialización.

- Tipos de cemento

Para el caso de los Cementos Hidráulicos según la Norma ASTM C - 1157, éstos se clasifican de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1 Tipos de cemento

| | |
|---------|--|
| Tipo GU | De uso general en construcción, se emplean cuando no se requieren condiciones especiales |
| Tipo HE | De alta resistencia inicial o temprana. |
| Tipo MS | De moderada resistencia a los sulfatos. |
| Tipo HS | De alta resistencia a los sulfatos. |
| Tipo MH | De moderado calor de hidratación |
| Tipo LH | De bajo calor de hidratación. |

Fuente: ASTM C -1157

- Propiedades del Cemento

Densidad: se define como la masa por unidad de volumen de sólidos.

Consistencia Normal: se define como el agua necesaria para que el émbolo de 1 cm de diámetro del aparato de vicat penetre 10 ± 1 mm durante 30 segundos en la pasta de cemento, después de haberse iniciado la prueba.

En la tabla 2 se describen las partes y características del aparato de vicat.

Tabla 2 Características del aparato Vicat

| Parte del aparato | Características |
|--|---|
| Peso del émbolo | 300 ± 0.5 g (0.661 lb ± 8 gramos) |
| Diámetro del émbolo | 10 ± 0.05 mm (0.394 ± 0.002 ") |
| Diámetro de la guja | 1 ± 0.05 mm (0.039 ± 0.002 ") |
| Diámetro interior de la base mayor del molde | 70 ± 3 mm (2.75 ± 0.12 ") |
| Diámetro interior de la base menor del molde | 60 ± 3 mm (2.36 ± 0.12 ") |
| Altura del molde | 40 ± 1 mm (1.57 ± 0.04 ") |
| Escala graduada | Comparada con una escala patrón de exactitud de ± 0.1 mm no debe indicar una desviación mayor de 0.25 mm. |

Fuente: Lindo y Matus, Guía de Laboratorio de materiales de construcción.

Tiempo de fraguado: cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento, se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

El tiempo de fraguado inicial: es el tiempo transcurrido desde el contacto inicial del cemento con el agua y el momento en que la aguja de vicat penetra 25 mm la superficie de la pasta de cemento.

El tiempo de fraguado final: es el tiempo transcurrido desde el contacto inicial del cemento con el agua y el momento en que la aguja de vicat no deja impresión completa circular en la superficie de la pasta.

Peso específico: se define como el peso de cemento por unidad de volumen de los sólidos o partículas, excluyéndose el aire entre las partículas. La masa específica se presenta en gramos por centímetro cúbico.

Para el proporcionamiento de mezclas, puede ser más útil expresar la densidad como densidad relativa, también llamada gravedad específica o densidad absoluta.

1.5.3.2 Agua de mezclado

Se permite el uso de agua potable como agua de mezcla en el concreto, sin necesidad de ensayarla para determinar su conformidad con los requisitos de la especificación ASTM C 1602.

La calidad del agua es importante ya que las impurezas que contenga pueden interferir en los tiempos de fraguado, afectar negativamente la resistencia del concreto u ocasionar el manchado de su superficie, así como llevar a la corrosión del refuerzo. (ASOCRETO, 2010).

1.5.3.3 Agregados

La ASTM C 125 – 92A define a los agregados como un material granular, el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.

Como se muestra en la tabla 4, los agregados pueden clasificarse de acuerdo a diferentes factores como: el tamaño de partícula, peso específico y modo de fragmentación.

Tabla 3 Clasificación de los agregados

| | |
|-------------------|--|
| Naturaleza | Ígneos, sedimentarios las cuales pueden ser ácidos (silíceos, hidrófilos, mala adhesividad) o básicos (alcalinos, hidrófobos, buena adhesividad) y metamórficos. |
| Origen | Naturales, artificiales y sintéticos. |
| Tamaño | Agregado fino: 5 micrones a 5 mm (aproximadamente) y agregado grueso: 5 mm a 3 pulg (máximo). |

Fuente: Carrasco, 2009

En la fabricación de mezclas de concreto y mortero, la forma generalizada de clasificar los agregados es mediante el tamaño de las partículas. En esta clasificación, se dividen las partículas en dos fracciones, la fracción fina (arena) constituida por todas las partículas con tamaños inferiores a 4.76 mm (tamiz No. 4) y la fracción gruesa (gravilla, grava, bolones) engloba a todas aquellas partículas que poseen un tamaño superior a 4.76 mm (tamiz No. 4).

Arena

La arena es el material que resulta de la desintegración natural o artificial de las rocas (proceso de trituración). Estos agregados abarcan normalmente partículas entre 4.75 y 0.075 mm, estas deben ser partículas duras, fuertes y durables que cumplan con los requerimientos de la especificación estándar para agregados finos detallados en la ASTM C 33.

Ilustración 1 Banco de Material “Los Martínez”



Fuente: Elaboración Propia

Grava

Pueden ser gravas naturales, piedra triturada, escoria de altos hornos u otros materiales inertes de características similares, que sean partículas duras, fuertes y durables que cumplan con los requerimientos de las especificaciones estándar para agregados gruesos detallados en la ASTM designación C 33 y demás propiedades pertinentes a los agregados de concreto.

Sin embargo, se puede utilizar una granulometría que por experiencia o por pruebas de laboratorio haya demostrado que para una condición dada se producen concretos de óptima calidad.

Ilustración 2 Banco de Materiales “Veracruz” AGRENIC, Nindirí



Fuente: Elaboración Propia

Propiedades de los agregados

En una mezcla de concreto, los agregados constituyen entre el 65% y el 85% del volumen total. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del concreto y el mortero.

Las principales propiedades de los agregados, como: el peso unitario, granulometría, gravedad específica, absorción, humedad, resistencia a la abrasión e impurezas orgánicas, influyen en el comportamiento de las mezclas de concreto y mortero. Por ello deben ser determinadas antes de fabricar mezclas de concreto y mortero.

Gravedad específica

Es la relación que hay entre el peso de una muestra de agregado seco y el volumen de agua desalojado por esta, cuando se encuentra saturada y superficialmente seca (S.S.S.). Esta propiedad, es una medida indirecta de su calidad. Los valores bajos, son un índice de materiales porosos y poco confiables. La mayoría de los agregados gruesos naturales tienen valores de gravedad específica que varían de 2.4 a 3.0.

Absorción

Describe el porcentaje de agua necesaria para saturar los agregados (llenar los poros permeables) expresados con respecto a la masa de los materiales secos (CFE,2001). Se determina después de un periodo de inmersión de 24 horas en agua, conforme a los métodos de prueba ASTM C 127 y ASTM C 128, para agregado grueso y fino respectivamente.

Humedad

Una partícula de agregado posee cierta porosidad en su interior, que le permite contener cierta cantidad de agua, definida como humedad y se expresa como porcentaje del peso seco del mismo (Blanco & Matus, s.f.). En dependencia de la cantidad de agua presente en el agregado con relación a su capacidad de absorción; este puede presentar cuatro condiciones de humedad:

- Secado al horno: totalmente absorbente.
- Secado al aire: la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y por lo tanto aún es ligeramente absorbente.
- Saturado con superficie seca (SSS): no absorben ni adicionan agua al concreto.
- Húmedos: contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre).

Esta propiedad de los agregados se determina según la norma ASTM C 566 y se debe tener presente en la dosificación de mezclas de concreto, de lo contrario, se tendrán variaciones en la relación agua-cemento (Relación w/c).

Peso unitario

Se define como la relación entre el peso de una determinada cantidad de agregado y volumen ocupado por el mismo. Según el acomodamiento dado a las partículas del agregado, se obtienen dos pesos unitarios: El peso unitario seco suelto (PVSS) y el peso unitario seco compacto (PVSC). Estos pesos se determinan de acuerdo a la norma ASTM C 29 y AASHTO T19.

Granulometría

Se define como la distribución del tamaño de las partículas que componen una masa de agregado y se determina mediante un análisis granulométrico por tamices según la norma ASTM C 136. El tamaño de estos varía entre 3 pulgadas y 0.074 mm (malla No. 200)

La distribución granulométrica de un agregado influye en la trabajabilidad del concreto, por tanto, es recomendable que posea una granulometría continua o que cumpla con ciertos límites en los porcentajes de material que pasan a través de cada uno de los tamices, conocidos como límites granulométricos, establecidos en la norma ASTM C 33.

Tabla 4 Tipos de Granulometría

| | |
|------------------------------|--|
| Bien granulada | Esta se consigue cuando el proceso de tamizado presenta una distribución de una manera uniforme de mayor a menor. El gráfico de este tipo de granulometría es una línea continua. |
| Mal Granulada | Esta se presenta cuando en el proceso de tamizado no se encuentra una continuidad entre el porcentaje de cada tamiz. El gráfico de este tipo de granulometría presenta desviaciones. |
| Uniforme | Esta se obtiene cuando hay una presencia de agregado con el mismo tamaño en sus partículas. |
| Abierta o discontinúa | Esta se presenta cuando en uno o varios tamices no se retienen partículas del material. |

Fuente: Campos Cisneros, Ronald, 2009.

Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal

De acuerdo con ASTM C 125-03, el tamaño máximo del agregado corresponde a la menor abertura de tamiz a través del cual pasa la muestra completa de agregado. En cambio, el Tamaño Máximo Nominal (T.M.N.) es el tamiz inmediatamente inferior al que pasa el 100% del material, en el cual se permite un porcentaje retenido de hasta 15%.

Módulo de finura

Parámetro para clasificar que tan fina o gruesa es la arena, se obtiene a partir de la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en las mallas No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4 y 3/8" dividido entre 100. Generalmente, los valores del M.F varían entre 2.3 y 3.1 en las arenas.

Resistencia a la abrasión o desgaste

Se conceptualiza como la resistencia que oponen los agregados gruesos a sufrir desgaste, rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión. Es importante para agregados utilizados en la fabricación de concretos durables, sujetos a acciones abrasivas, generalmente de índole mecánica (como se presenta en pavimentos y pisos industriales), y las de origen hidráulico que se generan a causa del arrastre de las partículas por el agua que fluye en contacto con el concreto (como suele acontecer en canales, túneles y vertederos).

El ensaye con que se mide la resistencia a la abrasión de los agregados gruesos se lleva a cabo en la máquina de los ángeles, mediante dos procedimientos, uno para tamaños iguales o menores de 12.5 mm (1/2") mediante la norma ASTM C - 131 y otro, para tamaños entre 19 (1/2") y 76 mm (3") de acuerdo con la ASTM C - 535.

Impurezas orgánicas

Los agregados para concreto pueden contener materia orgánica originada por la descomposición de elementos vegetales en cantidades perjudiciales, que pueden afectar las reacciones de hidratación, disminuyendo la resistencia o afectando el tiempo de fraguado del concreto (Montenegro, 2011).

Para determinar cualitativamente la cantidad de materia orgánica presente en el agregado fino, se realiza la prueba de colorimetría según ASTM C 40, que consiste en colocar en un recipiente de 8 a 16 onzas (240-740 ml) de capacidad, aproximadamente 4 ½ onzas (130 ml) de arena y luego una solución de Hidróxido de sodio (NaOH) hasta llegar a un volumen de 200 ml, después se agita y finalmente se deja reposar por un periodo de 24 horas.

1.5.4 Bloque de mortero y concreto

1.5.4.1 Definición

Los bloques son elementos prefabricados de concreto con forma de prisma, que se vibrocomprimen en moldes de tamaños predeterminados para uso en la construcción de muros de carga y con una o más perforaciones verticales que superan el 25% de su área bruta, compuestos usualmente por cemento, arena, agua, piedra triturada y otros aditivos.

El bloque de concreto puede poseer dos o más orificios (los cuales reducen el peso y la resistencia de los bloques) o puede tener núcleo sólido, además cuentan con una forma rectangular. Estos bloques se utilizan para la elaboración de mampostería reforzada y confinada, siendo responsable en una buena medida de las características mecánicas y estéticas de dicha mampostería. (Bloque de concreto con refuerzo integral 2008, Merlos y Guevara)

Según la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) 12 008 – 16 sección 4. Definiciones, los bloques pueden ser:

- Bloques huecos: son los que presentan en su sección más desfavorable un área neta por lo menos del 50% del área bruta y el espesor de sus paredes sea cuando menos igual a 2.5 cm.
- Bloque sólido: son los que presentan en su sección más desfavorable un área neta por lo menos del 75% del área bruta.
- Bloque especial: son aquellos que no cumplen con las características geométricas y las dimensiones establecidas en la norma.

Cada uno de los bloques de concreto debe estar intacto para que su unión sea la apropiada y encajen perfectamente con los otros sin presentar imperfecciones como fisuras.

La presencia de fisuras, inherentes al proceso de fabricación, o de destornillamientos pequeños, se presenta debido a los métodos corrientes de manejo, durante el transporte a la obra.

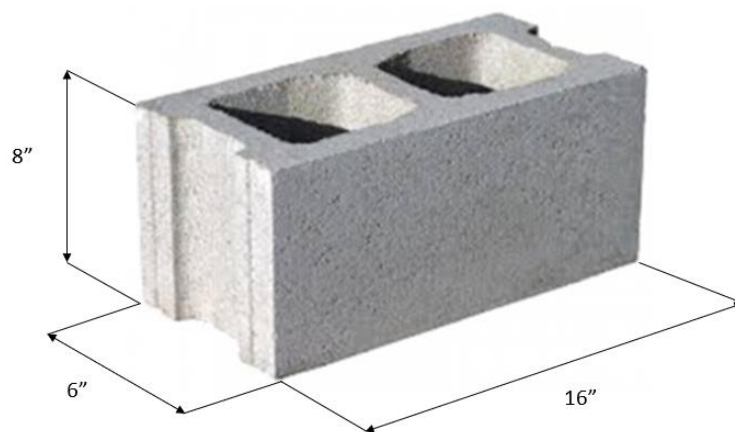
1.5.4.2 Aplicaciones

El bloque de concreto es utilizado ampliamente en la construcción, desde viviendas de interés social a edificaciones comerciales e industriales.

Sus principales aplicaciones son:

- Muros simples o divisorios
- Muros estructurales
- Bandas perimetrales
- Muros de retención o de contención.
- Construcción de lozas.

Ilustración 3 Bloque de concreto



Fuente: CEMEX

1.5.4.3 Propiedades Físicas del bloque

Dimensiones de fabricación

Los bloques se fabrican manteniendo constante la altura y el largo en 19cm x 39cm respectivamente, variando únicamente el ancho el cual debe ser como mínimo 10cm. (NTON 12 008 – 16). A continuación, se muestra la tabla con las dimensiones de fabricación que deberán ser respetadas por el fabricante.

Tabla 5 Dimensiones de Fabricación de los bloques

| Ancho x alto x largo (cm) | Espesor mínimo de paredes exteriores (mm) | Espesor mínimo de paredes interiores (mm) |
|------------------------------|--|--|
| 9 x 19 x 39 | 20 | 20 |
| 10 x 19 x 39 | 20 | 20 |
| 14 x 19 x 39 | 25 | 25 |
| 15 x 19 x 39 | 25 | 25 |
| 19 x 19 x 39 | 25 | 25 |
| 20 x 19 x 39 | 25 | 25 |
| 25 x 19 x 39 | 32 | 30 |
| 30 x 19 x 39 | 32 | 30 |

Nota: Ninguna de las dimensiones reales (ancho, largo y alto) podrá diferir ± 3 mm de las dimensiones de fabricación.

Fuente: NTON 12 008 – 16

Absorción: Expresa la cantidad de agua que absorbe el bloque y se calcula en porcentaje de peso seco. Se afecta directamente con la permeabilidad, adherencia y resistencia del bloque.

Los bloques sujetos a la NTON 12 008 - 16 sección 6.4, deben tener como máximo un 10% de absorción de agua.

1.5.4.4 Propiedades mecánicas

Resistencia a la Compresión: Se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto y mortero. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (Kg/cm^2), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg^2) a una edad de 28 días. En los ensayos se debe verificar que exista una distribución de fuerza a lo largo de todo el bloque uniformemente.

Los bloques deben cumplir con el siguiente requisito de resistencia a la compresión a los 28 días de fabricados según la NTON 12 008 - 16 sección 6.3.

Tabla 6 Resistencia a la compresión de los bloques huecos y sólidos

| Resistencia promedio mínimo para tres piezas | Resistencia mínima a la compresión para una pieza individual |
|---|---|
| 11,81 MPa (1714 psi o 120 kg/cm^2) | 10,63 MPa (1542 psi o 108 kg/cm^2) |

El cálculo de la resistencia se calcula sobre el área neta.

Nota: MPa equivale a 10.19 kg/cm^2

Fuente: NTON 12 008 - 16

En donde el esfuerzo efectivo aplicado al bloque se calculará tomando el área neta o sea la de contacto. Las resistencias mínimas especificadas en la tabla 7 son para los 28 días de curado.

Capítulo II: Caracterización de los agregados

2.1 Fuentes de los materiales

Para dar inicio al proceso experimental se seleccionaron los materiales constituyentes de las mezclas de mortero y concreto.

2.1.1 Cemento

El cemento hidráulico utilizado es Cemento Canal tipo GU (usos generales). Es un cemento de origen nacional, fabricado y comercializado por CEMEX Nicaragua.

2.1.2 Agregado fino

Como agregado fino se utilizó arena natural extraída del banco de material “Los Martínez” ubicado frente a refinería Cuesta El Plomo, Managua.

Ilustración 4 Ubicación del Banco de Material “Los Martínez”

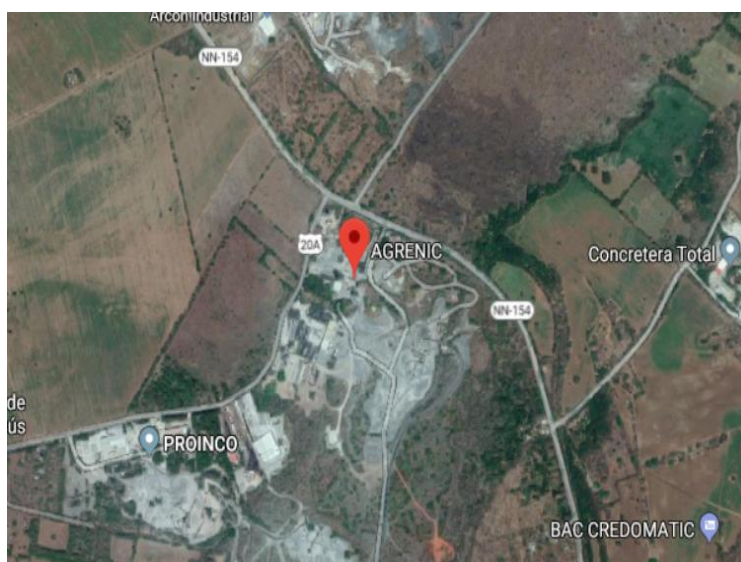


Fuente: Google Maps

2.1.3 Agregado grueso

Los agregados naturales, de tamaño 3/8", son de origen pétreo y triturados, extraídos del banco de materiales "Veracruz" AGRENIC, ubicado en el km 14 carretera a Masaya, municipio de Nindirí.

Ilustración 5 Ubicación del banco AGRENIC



Fuente: Google Maps

2.2 Determinación de las propiedades del Cemento

2.2.1 Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento

Para determinar la consistencia normal del cemento se empleó el procedimiento establecido en la norma ASTM C-187, método mecánico.

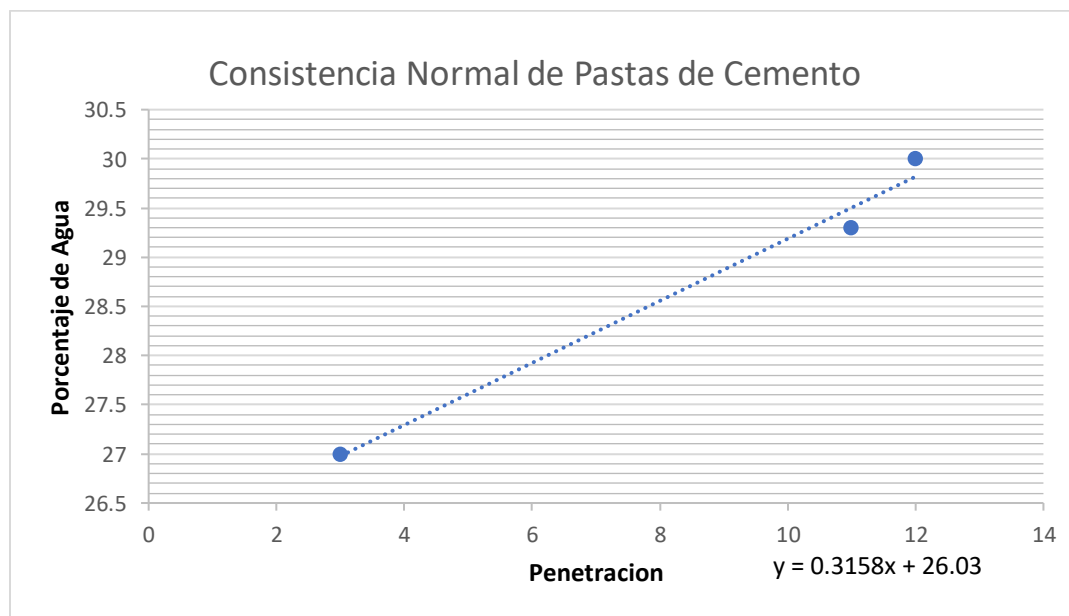
El procedimiento se realizó para dos muestras de cemento, por cada muestra se varió 3 porcentajes de agua respecto a la masa de cemento y se anotaron los resultados de penetración, hasta lograr una penetración de $10 \text{ mm} \pm 1$.

Tabla 7 Consistencia Normal del Cemento, Muestra 1

| Ensayo | Peso de la muestra (grs) | Cantidad de agua (ml) | Penetración (mm) | % Agua |
|--------|--------------------------|-----------------------|------------------|--------|
| 1 | 650 | 175.5 | 3 | 27 |
| 2 | 650 | 195 | 12 | 30 |
| 3 | 650 | 190.5 | 11 | 29.3 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1 Consistencia Normal del Cemento, Muestra 1



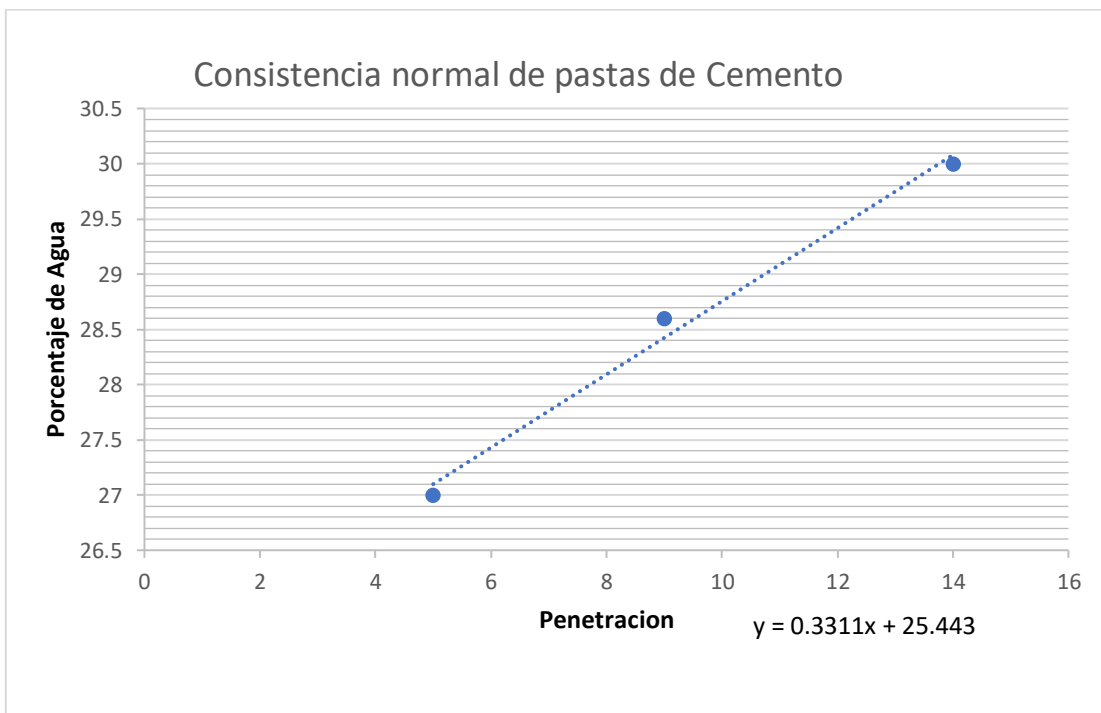
Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Consistencia Normal del Cemento, Muestra 2

| Ensayo | Peso de la muestra (gr) | Cantidad de Agua (ml) | Penetración (mm) | % Agua |
|--------|-------------------------|-----------------------|------------------|--------|
| 1 | 650 | 175.5 | 5 | 27 |
| 2 | 650 | 195 | 14 | 30 |
| 3 | 650 | 186 | 9 | 28.6 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2 Consistencia Normal del cemento, Muestra 2



Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, hemos identificado que el porcentaje de agua para obtener la consistencia normal del cemento es de 29%, que responde al promedio de los resultados de ambos procedimientos.

2.2.2 Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja de Vicat

El tiempo de fraguado del cemento es el tiempo que pasa desde el momento de la adición del agua hasta cuando la pasta deja de tener fluidez y plasticidad (fraguado inicial) para adquirir un grado de endurecimiento (fraguado final).

La determinación de estos dos estados, llamados tiempos de fraguado, se hizo como lo establece la norma ASTM C 191.

Se elaboró una pasta de cemento con el contenido de agua determinado en la prueba de consistencia normal (29%), se introdujo en el molde tronco cónico y en la parte superior se colocó la aguja de vicat, se hizo penetrar la aguja transcurridos los primeros 30 minutos y se registró el dato como primera lectura. Este procedimiento se repitió cada 15 minutos hasta que la aguja dictó una penetración de 0 mm.

Ilustración 6 Determinación del tiempo de fraguado del cemento



Fuente: Elaboración propia

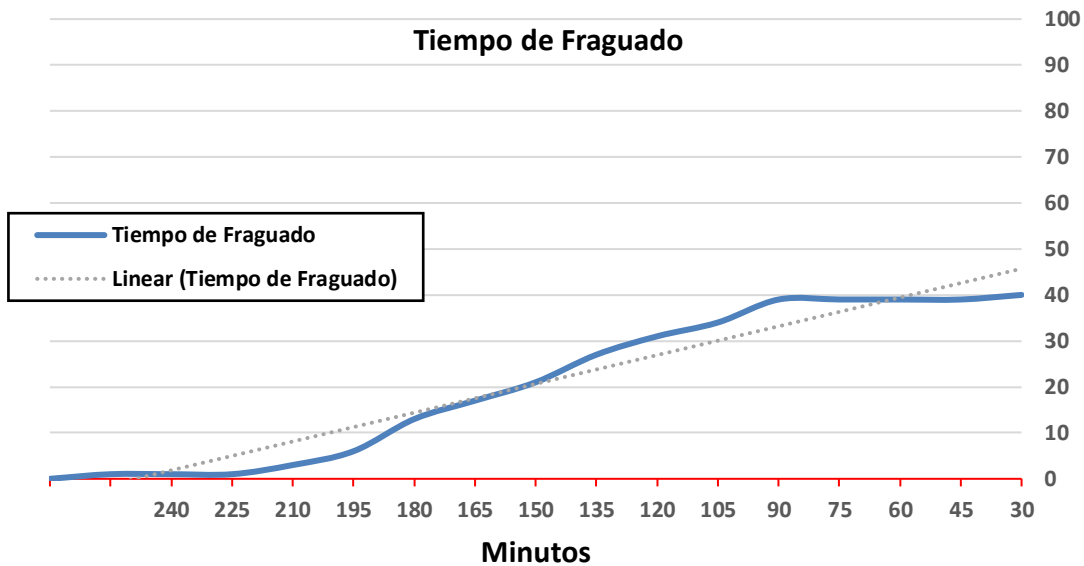
Tabla 9 Tiempo de fraguado del Cemento

| Ensayo 1 | Tiempo transcurrido | | Penetración (mm) |
|-------------------|----------------------------|----------------|-------------------------|
| Lectura N° | Hora | Minutos | |
| | 8:28 | 0 | |
| 1 | 8:58 | 30 | 40 |
| 2 | 9:13 | 45 | 39 |
| 3 | 9:28 | 60 | 39 |
| 4 | 9:43 | 75 | 39 |
| 5 | 9:58 | 90 | 39 |
| 6 | 10:13 | 105 | 34 |
| 7 | 10:28 | 120 | 31 |
| 8 | 10:43 | 135 | 27 |
| 9 | 10:58 | 150 | 21 |
| 10 | 11:13 | 165 | 17 |
| 11 | 11:28 | 180 | 13 |
| 12 | 11:43 | 195 | 6 |
| 13 | 11:58 | 210 | 3 |
| 14 | 12:13 | 225 | 1 |
| 15 | 12:28 | 240 | 1 |
| 16 | 12:43 | 255 | 1 |
| 17 | 12:58 | 270 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

Estos datos de laboratorio se grafican con el propósito de comparar la penetración en función del tiempo. A continuación se muestra el comportamiento del fraguado de la pasta de cemento.

Gráfico 3 Tiempo de Fraguado del cemento, Muestra 1



Fuente: Elaboración Propia

El cálculo del tiempo de fraguado inicial se hizo mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$Tiempo\ de\ fraguado\ inial = \left[\left(\frac{H - E}{C - D} \right) * (C - 25) \right] + E$$

Donde:

E = tiempo en minutos de la última penetración superior a 25 mm

H = tiempo en minutos de la primera penetración inferior a 25 mm

C = lectura de penetración en el tiempo E

D = lectura de penetración en el tiempo H

Sustituyendo los datos obtenidos en el laboratorio en la ecuación 1:

Ecuación 1

$$Tiempo\ de\ fraguado\ inial = \left[\left(\frac{150\ min - 135\ min}{27 - 21} \right) * (27 - 25) \right] + 135 = 140\ min$$

El resultado de Tiempo de fraguado inicial es de 140 minutos

Partiendo del concepto de fraguado final del cemento se logra identificar que para este caso el resultado es de 270 minutos o bien 4.5 horas.

Los resultados obtenidos en el laboratorio se compararon con los datos certificados del fabricante del cemento para comprobar que el comportamiento del material sea el adecuado. En la tabla 10 se muestra ambos datos.

Tabla 10 Comparación de los tiempos de fraguado del cemento

| Tiempos de fraguado del cemento | | |
|--|------------------------------|------------------------------|
| Tiempos | Datos del fabricante* | Resultados de ensayos |
| Tiempo de fraguado inicial | 190 min. | 140 min. |
| Tiempo de fraguado final | 285 min. | 270 min. |

Fuente: Elaboración propia

A como se logra visualizar en la tabla 13, los resultados de laboratorio presentan una ligera variación en comparación con los del fabricante, pero dentro de los rangos mínimos (45 min para fraguado inicial) y máximos (7 horas para fraguado final) establecidos por la norma para la determinación del tiempo de fraguado del cemento.

* Véase el certificado de conformidad con los datos del fabricante en anexo I.

2.2.3 Determinación del peso específico relativo del cemento hidráulico

Para la determinación del peso específico del cemento utilizado en las mezclas, se tomó dos muestras y siguiendo la norma ASTM C-188 se llenó el frasco Le Chatelier con kerosene entre las marcas de 0 y 1 ml (volumen inicial), con ayuda de un embudo se introdujo la muestra de cemento (64 grs), se tapó el frasco y se hizo rodar hasta eliminar todas las burbujas de aire contenidas en el frasco, la temperatura fue controlada mediante un baño maría y se registró el volumen final.

Se calculó dividiendo la masa de cemento entre el volumen desplazado del disolvente, como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 2

$$Densidad = \frac{masa\ de\ cemento}{volumen\ desplazado}$$

Ecuación 3

$$Volumen\ desplazado = Lectura\ inicial - Lectura\ final$$

Tabla 11 Gravedad Especifica del Cemento

| Gravedad específica del cemento | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------|-------------|---------------------|
| Cemento (gr) | Volumen desplazado inicial | Volumen desplazado final | T. inicial C° | T. final C° | Gravedad Especifica |
| 64.3 | 0.9 | 21.5 | 27.2 | 29.5 | 3.12 |
| 64.0 | 0.1 | 20.3 | 27 | 29.4 | 3.17 |
| Promedio | | | | | 3.14 |

Fuente: Elaboración propia

2.3 Muestreo y reducción de muestras de agregados

El proceso de muestreo para los agregados utilizados en estas mezclas, se realizó en base al procedimiento descrito en la norma ASTM D-75 para el caso de obtención de muestras obtenidas en las pilas de acopio.

Una vez concluido el proceso de muestreo, se tomaron las cantidades necesarias de agregado para realizar los ensayos sobre su caracterización. Las muestras se redujeron por el método de cuarteo mecánico descrito en la norma ASTM C - 702.

Ilustración 7 Proceso de muestreo para
agregado grueso

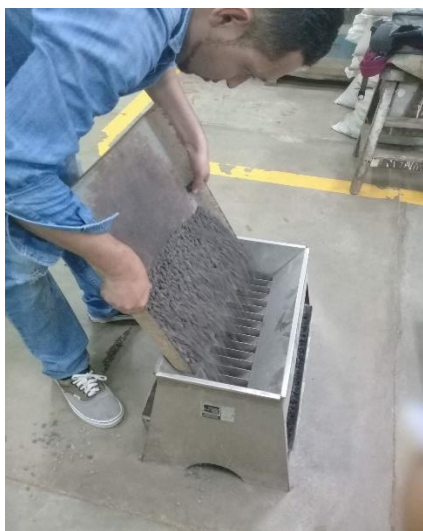


Ilustración 8 Proceso de muestreo para
agregado fino



Fuente: Elaboración propia

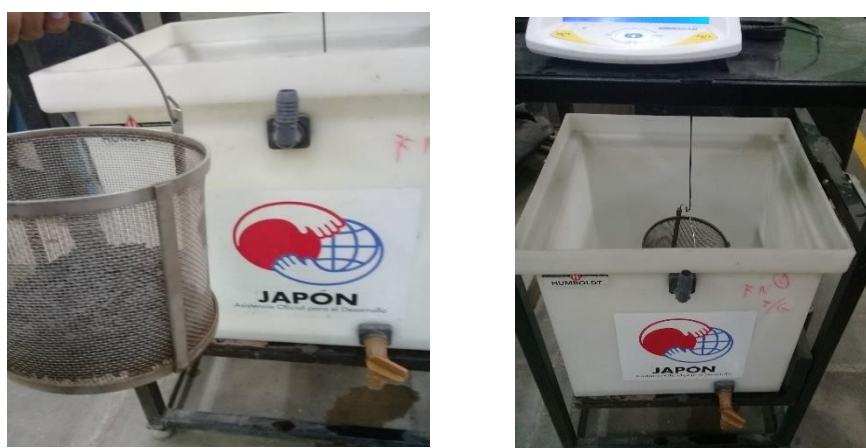
2.4 Propiedades de los agregados

Los ensayos mencionados a continuación se realizaron basados en la norma de ensayos de materiales ASTM correspondientes, se hicieron para los agregados gruesos y finos extraídos de los bancos de materiales antes mencionados.

2.4.1 Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado grueso.

La gravedad específica del agregado grueso se determinó según la designación ASTM C-127. Se sumergió una muestra de agregado grueso en agua por 24 ± 4 h para saturar los poros. Luego se removi6 la muestra del agua y se llev6 a su estado SSS. Se determin6 el volumen de la muestra por el m6todo de la balanza hidrostática. Por 6ltimo, se sec6 la muestra al horno y se determin6 su peso.

Ilustración 9 Determinación de la gravedad específica del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de la gravedad específica del agregado grueso

Ecuación 4

$$GE = \frac{A}{B - C}$$

- Cálculo de la gravedad específica aparente del agregado grueso

Ecuación 5

$$GE_{ap} = \frac{B}{A - C}$$

- Cálculo de la gravedad específica saturada superficialmente seca del agregado grueso

Ecuación 6

$$GE_{sss} = \frac{B}{B - C}$$

- Cálculo del porcentaje de absorción del agregado grueso

Ecuación 7

$$\%Abs. = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A: peso seco

B: peso material SSS

C: peso del material sumergido

E: peso cesta vacía sumergida

Tabla 12 Datos para el cálculo de la gravedad específica del agregado grueso

| Gravedad Específica de la grava | | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 |
|---------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| Muestra seca (grs) | A | 2142.6 | 2052.7 | 1986 |
| Muestra sss (grs) | B | 2179.6 | 2087.7 | 2020.0 |
| Muestra sumergida (grs) | C | 1407.5 | 1345.7 | 1305.6 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Resultados de la gravedad específica del agregado grueso

| Gravedad específica de la grava | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Promedio |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Gravedad Específica | 2.78 | 2.77 | 2.78 | 2.77 |
| Gravedad Específica SSS | 2.82 | 2.81 | 2.83 | 2.82 |
| Gravedad Específica Aparente | 2.91 | 2.90 | 2.92 | 2.91 |
| % Absorción | 1.73 | 1.71 | 1.71 | 1.71 |

Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino

La gravedad específica del agregado fino se determinó según la designación ASTM C-128. Se sumergió la muestra de agregado fino en agua por 24 ± 4 h, se decantó el exceso de agua y se expuso a una corriente de aire caliente, se verificó que el agregado estuviera en condición saturada superficialmente seca. A continuación, se llenó parcialmente con agua el picnómetro y se introdujo la arena pesada, adicionamos agua hasta aproximadamente un 90% de capacidad del frasco, se eliminaron las burbujas de aire, se ajustó la temperatura y procedimos a determinar el peso total del picnómetro más la muestra y el agua, finalmente removimos el contenido del frasco, lo depositamos en una tara y lo introducimos al horno para determinar su peso nuevamente.

Para determinar el porcentaje de absorción se tomó una muestra del agregado fino y se registró su peso, se metió al horno por 24 ± 1 y finalmente se pesó nuevamente.

Ilustración 10 Determinación de la gravedad específica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de la gravedad específica del agregado fino

Ecuación 8

$$GE = \frac{A}{D + B - C}$$

- Cálculo de la gravedad específica aparente del agregado fino

Ecuación 9

$$GE_{ap} = \frac{B}{D + A - C}$$

- Cálculo de la gravedad específica saturada superficialmente seca del agregado fino

Ecuación 10

$$GE_{sss} = \frac{B}{D + B - C}$$

- Para el cálculo del porcentaje de absorción del agregado fino se emplea la ecuación 7

Donde:

A: peso seco

B: peso material SSS

C: peso del picnómetro con la muestra lleno de agua hasta la marca de calibración

D: peso del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración.

Tabla 14 Gravedad Específica del Agregado Fino

| Gravedad Específica Arena | | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Temperatura de ensayo |
|--|---|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| Arena seca (grs) | A | 459,3 | 474,4 | 466,7 | 24.1 |
| Arena sss (grs) | B | 495,1 | 509,7 | 502,2 | |
| Peso picnómetro + muestra + agua (grs) | C | 977,4 | 988,5 | 983,3 | |
| Picnómetro + agua (grs) | D | 688,4 | 688,4 | 688,4 | |
| | | | | | Promedio |
| Gravedad Específica | | 2,23 | 2,26 | 2,25 | 2,25 |
| Gravedad Específica SSS | | 2,40 | 2,43 | 2,42 | 2,42 |
| Gravedad Específica Aparente | | 2,70 | 2,72 | 2,72 | 2,71 |
| % Absorción | | 7,79 | 7,44 | 7,61 | 7,61 |

Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Determinación de los pesos unitarios seco suelto y seco compacto de los agregados gruesos y finos

2.4.3.1 Peso volumétrico seco suelto (PVSS)

Para determinar el PVSS de los agregados finos y gruesos se seleccionó el recipiente volumétrico previamente calibrado y se registró su peso. El material se depositó con ayuda de un cucharón desde una altura constante sobre la parte superior del molde. Una vez llenado el recipiente, se enrasó y pesó el recipiente con el material contenido.

- Cálculo del PVSS

Ecuación 11

$$PVSS = \frac{W_s}{Vol}$$

Donde:

PVSS: peso volumétrico seco suelto

Ws: peso del material seco suelto contenido en el recipiente

Vol: volumen del recipiente

- Cálculo del material seco contenido en el recipiente

Ecuación 12

$$W_s = (W_m + W_{mat}) - W_m$$

Donde:

W_s : Peso del material seco contenido en el recipiente

$W_m + W_{mat}$: Peso del molde más material seco

W_m : Peso del molde

Tabla 15 Peso Volumétrico Seco Suelto de la Grava

| PVSS Arena | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Ensayo No | 1 | 2 | 3 |
| Molde No | A | A | A |
| Volumen del molde (m3) | 0.0031 | 0.0031 | 0.0031 |
| Peso del molde (kg) | 2.169 | 2.169 | 2.169 |
| Peso del molde + material suelto (kg) | 6.710 | 6.692 | 6.687 |
| Peso del agregado seco suelto (kg) | 4.541 | 4.523 | 4.518 |
| PVSS grava 3/8 (kg/m ³) | 1465 | 1459 | 1457 |
| PVSS promedio (kg/m ³) | 1460 | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Peso Volumétrico Seco Suelto de la Arena

| PVSS Arena | | | |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Ensayo No | 1 | 2 | 3 |
| Molde No | B | B | B |
| Volumen del molde (m3) | 0.0032 | 0.0032 | 0.0032 |
| Peso del molde (kg) | 2.867 | 2.867 | 2.867 |
| Peso del molde + material suelto (kg) | 7.481 | 7.526 | 7.529 |
| Peso del agregado seco suelto (kg) | 4.614 | 4.659 | 4.662 |
| PVSS arena 3/8 (kg/m ³) | 1442 | 1456 | 1457 |
| PVSS promedio (kg/m ³) | 1452 | | |

Fuente: Elaboración propia

Los agregados de peso normal poseen un peso volumétrico seco suelto entre 1200 kg/m³ y 1760 kg/m³. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango típico de agregados para concreto y son representativos de agregados de peso normal.

Ilustración 11 PVSS del agregado grueso



Ilustración 12 PVSS del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

2.4.3.2 Peso volumétrico seco compacto (PVSC)

Para determinar el PVSC, con la ayuda de un cucharón depositamos el material en el recipiente adecuado y previamente calibrado, efectuamos esta operación en tres capas desde una altura constante sobre la parte superior del molde, la primera capa a $\frac{1}{3}$ de capacidad del molde y con la varilla le aplicamos 25 golpes distribuidos en toda el área. Repetimos esta acción para las siguientes dos capas, enrasamos y determinamos su peso.

Para el cálculo de los pesos volumétricos secos compactos se utilizan las ecuaciones 13 y 14, la única variante es que los materiales se encuentran en estado compacto.

Tabla 17 Peso Volumétrico Seco Compacto de la Grava

| PVSC Grava 3/8 | | | |
|---|------------------------|--------|--------|
| Ensayo No | 1 | 2 | 3 |
| Molde No | A | A | A |
| Volumen del molde (m ³) | 0,0031 | 0,0031 | 0,0031 |
| Peso del molde (kg) | 2,169 | 2,169 | 2,169 |
| Peso del molde + material compacto (kg) | 7,030 | 6,989 | 7,047 |
| Peso del agregado seco compacto (kg) | 4,861 | 4,820 | 4,878 |
| PVSC grava 3/8 (kg/m ³) | 1568 | 1555 | 1574 |
| PVSC Promedio | 1565 kg/m ³ | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Peso Volumétrico Seco Compacto de la Arena

| PVSC Arena | | | |
|--|------------------------|--------|--------|
| Ensayo No | 1 | 2 | 3 |
| Molde No | B | B | B |
| Volumen del molde (m ³) | 0,0032 | 0,0032 | 0,0032 |
| Peso del molde (kg) | 2,867 | 2,867 | 2,867 |
| Peso del molde + material compacto(kg) | 7,843 | 7,887 | 7,893 |
| Peso del agregado seco compacto(kg) | 4,976 | 5,020 | 5,026 |
| PVSS arena(kg/m ³) | 1555 | 1569 | 1571 |
| PVSC Promedio | 1565 kg/m ³ | | |

Fuente: Elaboración propia

Los agregados para concreto poseen un peso volumétrico seco suelto entre 1280 kg/m³ y 1920 kg/m³. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango típico de agregados para concreto y son representativos de agregados de peso normal.

2.4.4 Determinación del análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos

2.4.4.1 Análisis Granulométrico para agregado grueso

Se colocaron los tamices de mayor a menor diámetro (en orden descendente) de la siguiente manera: 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50., se depositó el material previamente lavado y secado al horno. Cribamos el material por medio de movimiento de vaivén por un período de aproximadamente cinco minutos y finalmente pesamos el material retenido en cada tamiz.

- Cálculo de los pesos retenidos parciales

Ecuación 13

$$\%RP = \frac{\text{Peso retenido en cada tamiz}}{\text{Peso seco total}} * 100$$

- Cálculo de los pesos retenidos acumulados

Ecuación 14

$$\%RA = \%RAi + \%R_{Pi+1}$$

Donde:

%Ra: Porcentaje retenido acumulado

%RAi: Porcentaje retenido acumulado inicial

%R_{Pi+1}: Porcentaje retenido parcial siguiente al acumulado que se está calculando.

- Cálculo de los porcentajes que pasan

Ecuación 15

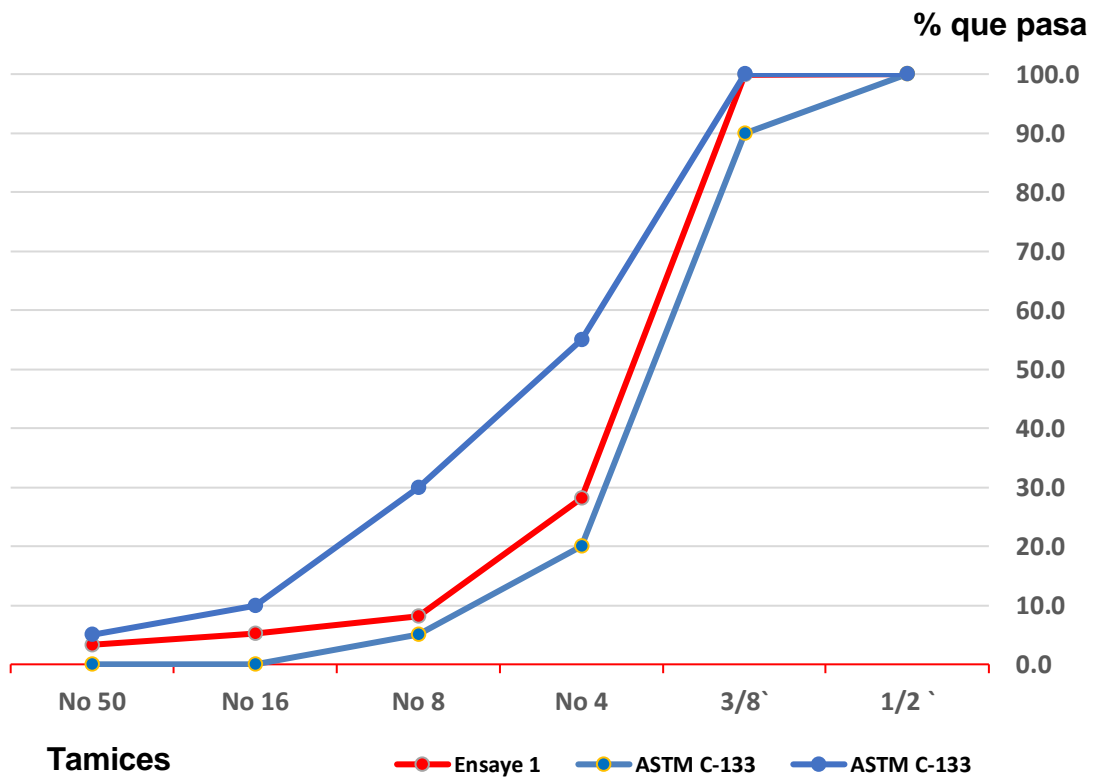
$$\% \text{ que pasa} = 100 - \%RA$$

Tabla 19 Granulometría de la Grava, Muestra 1

| Granulometría de la grava | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|
| Tamiz | Peso retenido parcial (grs) | Porcentaje retenido parcial % | Porcentaje retenido acumulado | Porcentaje que pasa (%) | Norma ASTM C-33 Tamaño 89 | |
| 1/2" | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 3/8" | 3.7 | 0.2 | 0.2 | 99.8 | 90.0 | 100.0 |
| No 4 | 1501.0 | 71.6 | 71.8 | 28.2 | 20.0 | 55.0 |
| No 8 | 419.8 | 20.0 | 91.8 | 8.2 | 5.0 | 30.0 |
| No 16 | 63.5 | 3.0 | 94.9 | 5.1 | 0.0 | 10.0 |
| No 50 | 38.3 | 1.8 | 96.7 | 3.3 | 0.0 | 5.0 |
| Pasa 50 | 69.5 | 3.3 | 100.0 | 0.0 | | |
| Σ | 2095.80 | 100.00 | | | | |
| TM | 1/2 " | | | | | |
| TMN | 3/8 " | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4 Curva Granulométrica Grava, Muestra 1



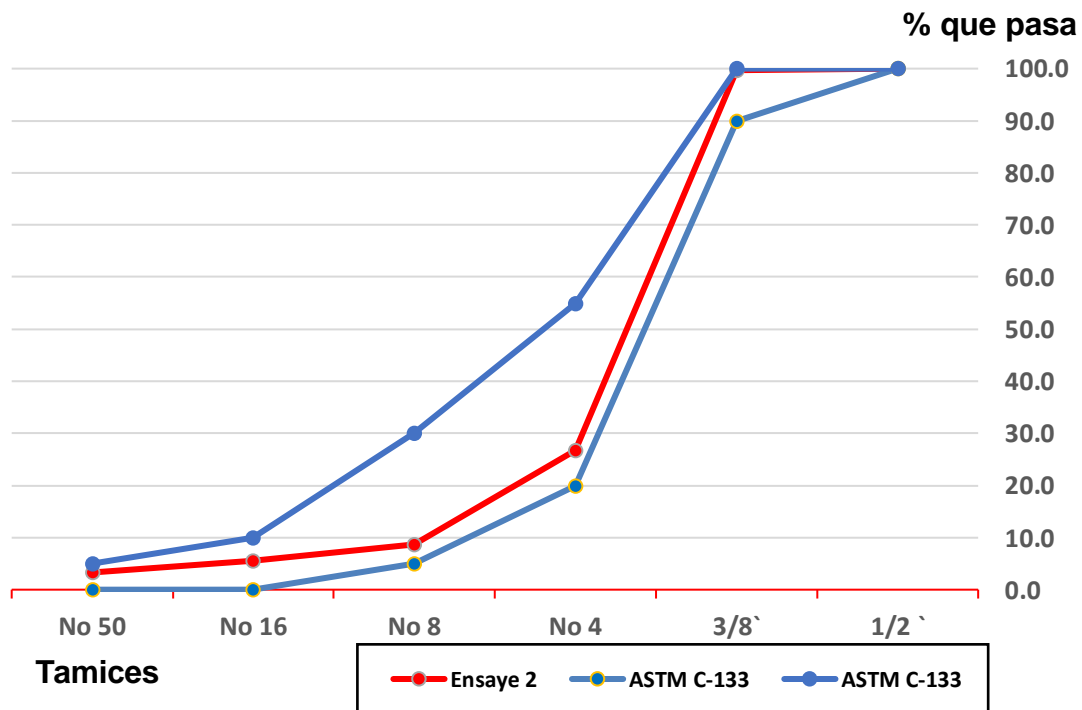
Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Granulometría de la Grava, Muestra 2

| Granulometría de la grava | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------|
| Tamiz | Peso retenido parcial (grs) | Porcentaje retenido parcial % | Porcentaje retenido acumulado | Porcentaje que pasa (%) | Norma ASTM C-33 Tamaño 89 | |
| 1/2" | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 3/8" | 6.7 | 0.3 | 0.3 | 99.7 | 90.0 | 100.0 |
| No 4 | 1478.0 | 73.0 | 73.3 | 26.7 | 20.0 | 55.0 |
| No 8 | 362.7 | 17.9 | 91.3 | 8.7 | 5.0 | 30.0 |
| No 16 | 63.3 | 3.1 | 94.4 | 5.6 | 0.0 | 10.0 |
| No 50 | 47.0 | 2.3 | 96.7 | 3.3 | 0.0 | 5.0 |
| Pasa 50 | 66.7 | 3.3 | 100.0 | 0.0 | | |
| Σ | 2024.4 | 100.0 | | | | |
| TN | 1/2 " | | | | | |
| TMN | 3/8 " | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5 Curva Granulométrica Grava, Muestra 2



Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica está entre los límites establecidos por la ASTM C-33. Estos valores muestran que la grava de 3/8" analizada es ideal para la fabricación de mezclas de concreto según ACI y cumple con los requerimientos granulométricos establecidos por la norma antes mencionada.

Los resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos del material en estudio no presentan variaciones significativas con respecto a los resultados del fabricante. Se pueden verificar en el anexo II.

Ilustración 13 Tamices para la determinación de granulometría



Ilustración 14 Gradación de la grava



Fuente: Elaboración propia

2.4.4.2 Análisis granulométrico para agregado fino

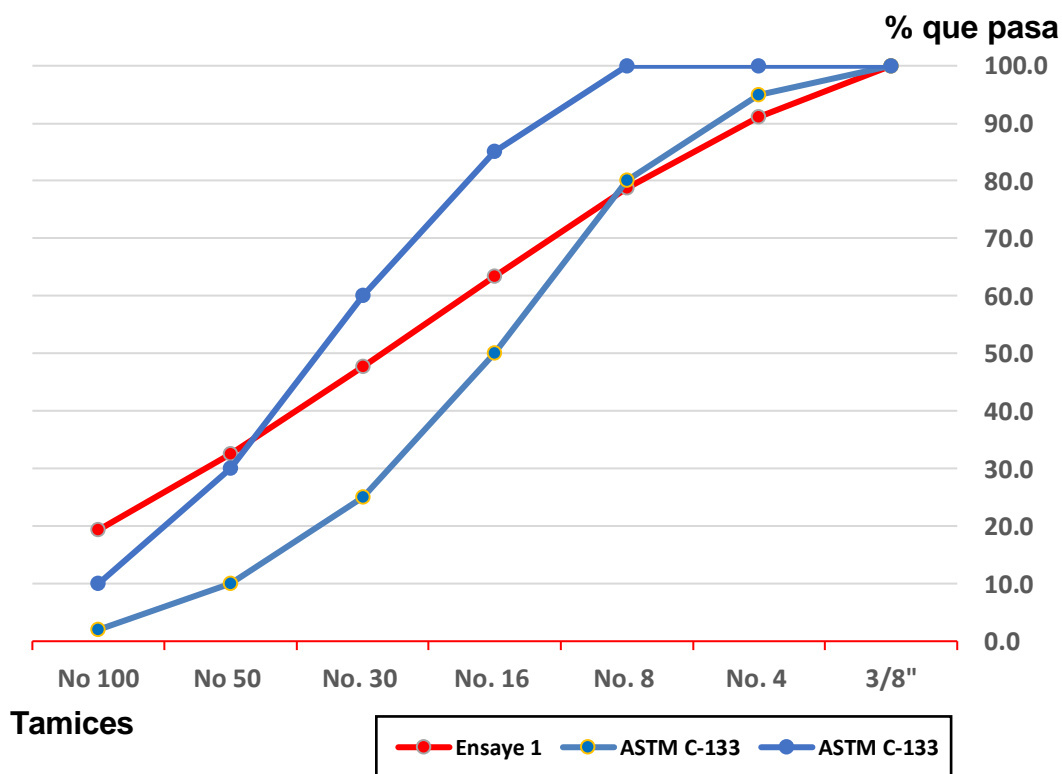
Se colocaron los tamices de mayor a menor diámetro (en orden descendente) de la siguiente manera: 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 y un fondo, se depositó el material previamente lavado y secado al horno. Se cribó el material por medio de movimiento de vaivén por un período de aproximadamente cinco minutos y finalmente pesamos el material retenido en cada tamiz.

Tabla 21 Granulometría de la Arena, Muestra 1

| Granulometría de la arena | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|-------|
| Tamiz | Peso retenido parcial (grs) | Porcentaje retenido parcial % | Porcentaje retenido acumulado | Porcentaje que pasa (%) | Norma ASTM C-33 | |
| 3/8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| No. 4 | 140.3 | 8.9 | 8.9 | 91.1 | 95.0 | 100.0 |
| No. 8 | 194.6 | 12.4 | 21.3 | 78.7 | 80.0 | 100.0 |
| No. 16 | 239.2 | 15.2 | 36.6 | 63.4 | 50.0 | 85.0 |
| No. 30 | 246.7 | 15.7 | 52.3 | 47.7 | 25.0 | 60.0 |
| No 50 | 239.3 | 15.2 | 67.5 | 32.5 | 10.0 | 30.0 |
| No 100 | 206.8 | 13.2 | 80.7 | 19.3 | 2.0 | 10.0 |
| No 200 | 176.4 | 11.2 | 91.9 | 8.1 | | |
| pasa 200 | 127.2 | 8.1 | 100.0 | 0.0 | | |
| Σ | 1570.5 | 100.0 | | | | |
| MF | | 2.67 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6 Curva Granulométrica Arena, Muestra 1



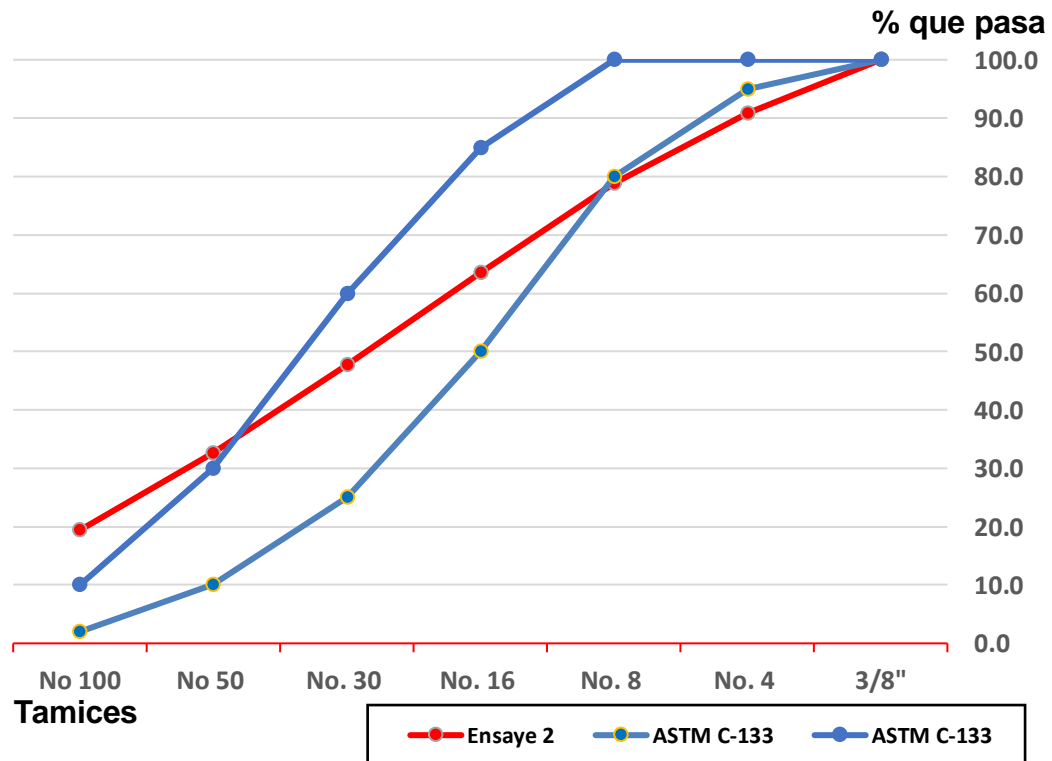
Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Granulometría de la Arena, Muestra 2

| Granulometría de la arena | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------|-------|
| Tamiz | Peso retenido parcial (grs) | Porcentaje retenido parcial % | Porcentaje retenido acumulado | Porcentaje que pasa (%) | Norma ASTM C-133 | |
| 3/8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| No. 4 | 139.1 | 9.2 | 9.2 | 90.8 | 95.0 | 100.0 |
| No. 8 | 183.4 | 12.1 | 21.2 | 78.8 | 80.0 | 100.0 |
| No. 16 | 232.4 | 15.3 | 36.5 | 63.5 | 50.0 | 85.0 |
| No. 30 | 238.7 | 15.7 | 52.2 | 47.8 | 25.0 | 60.0 |
| No 50 | 230.7 | 15.2 | 67.4 | 32.6 | 10.0 | 30.0 |
| No 100 | 200.9 | 13.2 | 80.6 | 19.4 | 2.0 | 10.0 |
| No 200 | 172.2 | 11.3 | 91.9 | 8.1 | | |
| pasa 200 | 122.7 | 8.1 | 100.0 | 0.0 | | |
| Σ | 1520.1 | 100.0 | | | | |
| MF | | 2.67 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7 Curva Granulométrica Arena, Muestra 2



Fuente: Elaboración propia

- Cálculo del módulo de finura

Ecuación 16

$$MF = \frac{\Sigma \%RA \text{ (desde } 3/8 \text{ hasta } \# 100)}{100}$$

Donde:

MF: módulo de finura

%Ra: porcentaje retenido acumulado.

La curva granulométrica está por encima del límite superior entre los tamices N°50 y N° 100, lo que indica que el agregado fino estudiado es una arena más fina de lo establecido en los límites establecidos por la norma ASTM C-33 entre estos tamices. Por otra parte, la curva obtenida está por debajo del límite inferior establecido por la ASTM entre los tamices No.8 y 3/8" donde encontramos una arena más gruesa de lo establecido por la ASTM C - 33. La NTON 12 008 - 16 sección 6.1 Materias primas, permite la utilización de agregados que no cumplen con la norma antes descrita, siempre y cuando estos garanticen el cumplimiento de las especificaciones del bloque definidas en esta norma, por otro lado, el módulo de finura obtenido de los ensayos de laboratorio es de 2.67 que es un valor tolerable.

2.4.5 Determinación de la resistencia al desgaste por cargas abrasivas, método de la máquina de los ángeles del agregado grueso

La muestra fue lavada por el tamiz No.12 y secada al horno hasta obtener un peso constante, se introdujo la muestra y la carga abrasiva en la máquina de los ángeles y se giró el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minutos (rpm), hasta completar 500 revoluciones. Una vez completado el ciclo, se descargó el material y se lavó nuevamente por el tamiz No. 12, se secó al horno y se registró su peso.

- Cálculo del porcentaje de desgaste

Ecuación 17

$$\%desgaste = \frac{P_1}{P_2} * 100$$

Donde:

P1: peso de la muestra seca antes del ensaye

P2: peso de la muestra seca después del ensaye y su correspondiente lavado.

Tabla 23 Porcentaje de Desgaste del agregado grueso

| Desgaste de la grava | Muestra 1 | Muestra 2 |
|-----------------------------|------------------|------------------|
| Peso Grava (gr) | 5001 | 5000 |
| Peso Esferas (gr) | 3319 | 3332 |
| Peso final limpio (gr) | 3490 | 3405 |
| % Desgaste | 30 | 32 |
| Promedio | 31 | |

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de desgaste obtenido para la grava de 3/8" fue de 31%, este valor está por debajo del porcentaje de desgaste máximo que está en el rango de 40% a 50 % de la ASTM C 131.

Ilustración 15 Extracción de material de la Máquina de Los Ángeles



Ilustración 16 Material desgastado en La Máquina de Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

2.4.6 Determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino

Para determinar el contenido de materias orgánicas se utiliza normalmente la prueba conocida como colorimetría o prueba de color, designada en la ASTM C 40. El color de la arena establece si ésta debe ser utilizada o no y se hace de acuerdo con la tabla 24.

Tabla 24 Uso del agregado fino según contenido de impurezas orgánicas

| Color | Utilización | Disminución de la resistencia del mortero y del concreto de 7 a 28 días de edad |
|---------------------------|--|---|
| Incoloro o amarillo claro | Concreto de buena calidad | 0 |
| Azafranado | Utilizable | 10% a 15% |
| Rojo amarillento | Concreto sometidos a tensiones reducidas | 15 a 25% |
| Castaño marrón | No utilizable | 25 a 50% |
| Marrón oscuro | No utilizable | 50% a 100% |

Fuente: Matus y Blanco, Apuntes de materiales de construcción.

El resultado del ensayo fue un material incoloro y de acuerdo con los datos de la tabla 25, éste agregado es factible para la fabricación de concreto y mortero de buena calidad considerando que no afecta la resistencia final.

Ilustración 17 Determinación de contenido de impurezas orgánicas



Fuente: Elaboración propia

Capítulo III: Diseño de mezclas de concreto y mortero

El diseño de mezclas se define como el proceso para seleccionar los ingredientes adecuados y determinar sus cantidades relativas para producir concreto y mortero con los requerimientos deseados.

3.1 Diseño de mezclas de concreto

El diseño de mezclas de concreto se realizó por el método del Instituto Americano del Concreto (ACI), sección 211.1 - 81, este método desarrolla un procedimiento de diseño de mezclas basadas en algunas tablas, mismas que permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

Para el diseño de las mezclas de concreto partimos de la caracterización de los agregados y material cementante, los cuales fueron ensayados en laboratorio siguiendo las normativas correspondientes, estos datos fueron presentados a detalle en el Capítulo II de este documento.

Se elaboraron cinco mezclas de concreto, variando la relación agua/cemento y las proporciones.

Proporcionamiento de mezclas de Concreto

Supuesto de diseño

La mezcla para fabricar bloques de concreto deberá cumplir con los siguientes supuestos:

- Resistencia a la compresión a los 28 días de edad (1714 psi NTON 12 008 - 16)
- Tamaño máximo del agregado (3/8")

Para el diseño de mezclas de concreto es necesario partir de la caracterización de los agregados, estos datos se presentan resumidos en la tabla 25.

Tabla 25 Propiedades de los componentes de las mezclas

| Material | PVSS | PVSC | GE | %ABS | MF |
|-----------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| Cemento | 1130 | 1250 | 3.14 | - | - |
| Arena | 1452 | 1565 | 2.71 | 7.61 | 2.67 |
| Grava | 1460 | 1565 | 2.91 | 1.71 | - |

Fuente: Elaboración propia

Elección de revenimiento

Proponemos una mezcla con revenimiento nulo o mínimo de 1" ya que se requiere una consistencia seca que permita una conformación rápida durante el proceso de vibro compactado de la mezcla para fabricación de bloques.

Elección del tamaño máximo del agregado

Para fabricación de bloques Valdez Rodríguez, (2010) recomienda que el tamaño máximo del agregado grueso debe ser de 1/2" (12.5mm), y el tamaño mínimo de 3/8" (9.5 mm).

Este tamaño puede variar en función de la dimensión más pequeña del bloque (celda). Tomando en cuenta que la dimensión promedio de las celdas de los bloques a fabricar son de 1.47" se propone un Tamaño máximo del agregado = 3/8"

Estimación del agua de mezclado

El contenido de agua para el diseño de mezcla se determina según el tamaño máximo nominal propuesto (3/8") y el revenimiento seleccionado. Según la tabla 1 del anexo III. Para este diseño corresponden 207 kg/m³ y 3% de aire atrapado por ser un concreto sin aire incluido.

Elección de la relación agua/cemento

Para poder encontrar la relación agua cemento, primero se debe definir cuál será la resistencia a la compresión que deberá cumplir el concreto, en este caso partimos de la resistencia mínima requerida por la NTON 12 008 – 16 a los 28 días de edad la cual es de 1714 psi, a este dato se le conoce como F_c .

El método de la ACI indica, que se debe calcular la resistencia promedio requerida (F'_{cr}) en función de la resistencia a la compresión del concreto a utilizar (F'_c), para ello se hace uso de la tabla 2 del anexo III, dando como resultado que el F'_{cr} debe ser calculado a través de la ecuación siguiente:

Ecuación 18

$$F'_{cr} = F'_c + 70 \text{ kg/cm}^2$$

Donde:

F'_{cr} = resistencia promedio requerida del concreto

F'_c = resistencia a la compresión del concreto

$$F'_{cr} = 121 \text{ kg/cm}^2 + 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_{cr} = 191 \text{ kg/cm}^2$$

$$F'_{cr} = 2710 \text{ psi}$$

Una vez determinada la resistencia requerida del concreto, se emplea la tabla 3 del anexo III para calcular la relación agua – cemento a utilizar en la mezcla. Debido a que el F'_{cr} de la mezcla es 2710 psi, se realizó interpolación para el cálculo de la relación agua – cemento utilizando los datos brindados por la tabla antes mencionada.

La relación agua – cemento calculada es igual a 0.721

Contenido de cemento

Se obtiene dividiendo el contenido estimado de agua entre la relación agua cemento. Para este diseño corresponde un peso de cemento de 287.10 kg, este resultado se obtuvo mediante el despeje de la siguiente ecuación:

Ecuación 19

$$R^{a/c} = \frac{W_w}{W_c}$$

Ecuación 20

$$W_c = \frac{W_w}{R^{a/c}}$$

$$W_c = \frac{207}{0.721} = 287.10 \text{ kg}$$

Donde:

R a/c = relación agua/cemento

Ww = peso del agua

Wc = peso del cemento

Estimación del contenido de agregado grueso

El volumen de agregado grueso para 1m³ de concreto se determina tomando en cuenta el tamaño máximo de grava (3/8") y el módulo de finura del agregado fino. Para la obtención de este volumen es necesario utilizar la tabla 4 del Anexo III. Para un TM = 3/8" y un MF = 2.67 obtenemos un volumen de agregado grueso igual a 0.47.

Ecuación 21

$$W_G = PVSC_G * V_G$$

$$W_G = 1565 * 0.47 = 735.6 \text{ Kg}$$

Donde:

W_G = peso de la grava

V_G = volumen de la grava

$PVSC_G$ = peso volumétrico seco compacto de la grava

Estimación del contenido de agregado fino

Se basa en el uso de los volúmenes absolutos de los materiales. El volumen total de materiales conocidos (grava, agua, cemento, y aire) se resta del volumen unitario ($1m^3$) para obtener el volumen del agregado fino.

Ecuación 22

$$V_{arena} = 1m^3 - V_G - V_W - V_C - V_A$$

Ecuación 23

$$V_C = \frac{W_C}{GE_C * \gamma_w} \quad V_C = \frac{287.1Kg}{3.14 * 1000kg/m^3} = 0.091 m^3$$

Ecuación 24

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} \quad V_w = \frac{207Kg}{1000kg/m^3} = 0.207 m^3$$

Ecuación 25

$$V_G = \frac{W_G}{GE_G * \gamma_w} \quad V_G = \frac{735.6kg}{2.91 * 1000kg/m^3} = 0.2528$$

$$V_{arena} = 1m^3 - 0.2528m^3 - 0.207m^3 - 0.091m^3 - 0.03m^3 = 0.414m^3$$

Ecuación 26

$$V_{aire} = \frac{\% \text{ aire}}{100} \quad V_{aire} = \frac{3}{100} = 0.03m^3$$

Ecuación 27

$$W_{arena} = 0.414 * 2.71 * 1000 = 1121.9 \text{ kg}$$

Donde:

V_C = volumen de cemento

W_C = peso del cemento

V_W = volumen de agua

W_W = peso del agua

V_G = volumen de grava

W_G = peso de la grava

V_A = volumen de aire

W_A = peso de la arena

γ_w = peso específico del agua

GE_C = gravedad específica del cemento

V_{aire} = Volumen de aire

GE_G = gravedad específica de la grava

Ajuste por el porcentaje de absorción

Debe tenerse en cuenta la absorción de los agregados gruesos y finos para la cantidad de agua a utilizar. Por tal razón el agua total de mezclado debe incluir la cantidad de agua que se alojara en los poros permeables. De igual manera debe considerarse el agua contenida por los agregados (humedad) y la cantidad de agua contenida se sustrae del agua de diseño. En este caso, no hubo afectación por humedad debido a que los materiales fueron previamente secados al horno durante 24 horas.

Ecuación 28

$$W_{Wmez} = W_W + \left[W_{arena} * \left(\frac{\%abs}{100} \right) + W_G * \left(\frac{\%abs}{100} \right) \right] - \left[W_{arena} * \left(\frac{\%w}{100} \right) + W_G * \left(\frac{\%w}{100} \right) \right]$$

$$W_{Wmez} = 207 + \left[1121.9 * \left(\frac{7.61}{100} \right) + 735.6 * \left(\frac{1.71}{100} \right) \right] = 367.97 \text{ lts}$$

Volumen Suelto de los materiales

Ecuación 29

$$V_c = \frac{W_c}{PVSS} \quad V_c = \frac{287.1}{1130} = 0.254 \text{ m}^3$$

Ecuación 30

$$V_A = \frac{W_A}{PVSS} \quad V_A = \frac{1121.9}{1452} = 0.773 \text{ m}^3$$

Ecuación 31

$$V_G = \frac{W_G}{PVSS} \quad V_G = \frac{735.6}{1460} = 0.504 \text{ m}^3$$

Proporción

$$\frac{V_c}{V_c} = \frac{0.254}{0.254} = 1$$

$$\frac{V_A}{V_c} = \frac{0.773}{0.254} = 3.1$$

$$\frac{V_G}{V_c} = \frac{0.504}{0.254} = 1.98$$

Según diseño tiene un concreto con proporción 1:3:2 y R a/c = 0.7, a partir de éste diseño se propone variar la relación agua – cemento teniendo una segunda mezcla con proporción 1:3:2 y R a/c 0.60.

La tercera y cuarta mezcla surge por recopilación bibliográfica, ya que según el INCYC las proporciones mayormente utilizada en la industria corresponde a 1:5:2 salvo que el último dígito se refiere a material cero. Y mantenemos las mismas relaciones agua cemento de las mezclas 1 y 2 que son 0.60 y 0.70 respectivamente.

Finalmente una quinta mezcla se generó a partir de los diseños de mortero, ésta consiste en tener una parte de cemento, dos partes de arena y dos partes de grava, (1:2:2), se propuso esta mezcla para identificar como varían los resultados de mezclas de mortero (1:4) cuando se sustituyen dos parte del agregado fino por agregado grueso. Para este diseño se trabajó con la misma relación agua – cemento que se obtuvo en el diseño de mortero que es 0.60.

Siguiendo el proceso de diseño de mezclas de concreto del manual del ACI, sección 211.1 – 81 se proponen las dosificaciones que se presentan en las siguientes tablas: Siguiendo el proceso de diseño de mezclas de concreto del manual del ACI.

Tabla 26 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:3:2 R a/c 0.7

| Material | Proporción | Volumen suelto de material (m³) | Peso de material para un metro cúbico (kg) |
|-----------------|-------------------|---|---|
| Cemento | 1 | 0.254 | 287.1 |
| Arena | 3 | 0.773 | 1121.9 |
| Grava | 2 | 0.504 | 735.6 |
| Agua | | 0.207 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:3:2, R a/c 0.60

| Material | Proporción | Volumen suelto de material (m³) | Peso de material para un metro cúbico (kg) |
|-----------------|-------------------|---|---|
| Cemento | 1 | 0.274 | 309.7 |
| Arena | 3 | 0.822 | 1193.85 |
| Grava | 2 | 0.548 | 800.29 |
| Agua | | 0.1858 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:5:2, R a/c 0.70

| Material | Proporción | Volumen suelto de material (m³) | Peso de material para un metro cúbico (kg) |
|-----------------|-------------------|---|---|
| Cemento | 1 | 0.206 | 233.80 |
| Arena | 5 | 1.034 | 1502.09 |
| Grava | 2 | 0.414 | 604.15 |
| Agua | | 0.1637 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:5:2, R a/c 0.60

| Material | Proporción | Volumen suelto de material (m³) | Peso de material para un metro cúbico (kg) |
|-----------------|-------------------|---|---|
| Cemento | 1 | 0.212 | 239.39 |
| Arena | 5 | 1.061 | 1538.05 |
| Grava | 2 | 0.424 | 618.61 |
| Agua | | 0.1436 | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Diseño de mezcla de concreto empleando proporción 1:2:2, R a/c 0.60

| Material | Proporción | Volumen suelto de material | Peso de material para un metro cúbico (kg) |
|-----------------|-------------------|-----------------------------------|---|
| Cemento | 1 | 0.321 | 363.01 |
| Arena | 2 | 0.642 | 932.89 |
| Grava | 2 | 0.642 | 938.03 |
| Agua | | 0.2178 | |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas mostradas son el resumen de los diseños de mezclas de concreto, los diseños completos se describen en el anexo IV.

3.1.1 Elaboración de mezclas de concreto

A partir de los diseños mostrados en las tablas 27 hasta la 31, se procede a la elaboración en laboratorio de las mezclas propuestas, de ellas se desea conocer su comportamiento para verificar cuál presenta los mejores resultados.

Siguiendo con la especificación ASTM C 192, la cual describe el método de mezclado y elaboración de muestras de prueba en el laboratorio, proseguimos a la fabricación haciendo uso de una batidora.

Se pesaron los materiales conforme cada diseño por proporción. A continuación se vertió el agregado grueso y se añadió aproximadamente el 30% de agua de mezclado, se inició el mezclado y luego se incorporó el agregado fino, el cemento y el restante de agua. Respetando el tiempo de mezclado y reposo finalizamos el proceso de fabricación de las mezclas y proseguimos a la medición de revenimiento.

Ilustración 18 Agregado grueso para fabricación de mezcla de concreto



Ilustración 19 Mezcla de concreto



Fuente: Elaboración propia

A continuación se hizo el llenado de los cilindros para ensayos siguiendo las especificaciones de la ASTM C 192. Se elaboraron 3 especímenes de 4" x 8" por dosificación. Los especímenes se desencofraron a las 24 horas y fueron curados por inmersión hasta la edad de ensayo de resistencia a la compresión.

Ilustración 20 Encofrado de cilindros de concreto



Ilustración 21 Desencofrado de cilindros de concreto



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Resultados de mezclas de concreto

Para conocer el comportamiento de cada una de las mezclas de concreto diseñadas, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión de acuerdo con la norma ASTM C – 39. Se ensayaron tres especímenes de 4" x 8" por dosificación de mezcla a edades de 7, 14 y 28 días.

La resistencia a la compresión se mide aplicando carga a las probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión la que registra la carga máxima de falla del concreto.

En tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga, como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 32

$$\text{Resistencia a la compresión: } \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Área de contacto}}$$

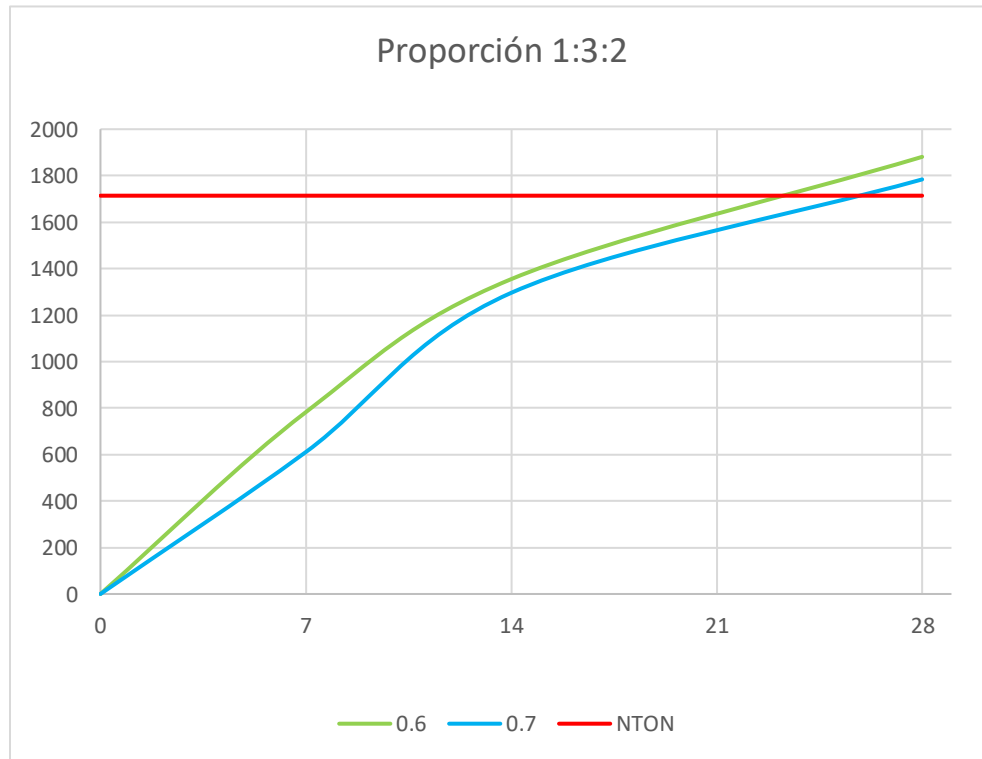
La resistencia promedio a compresión de los cilindros ensayados por cada edad y dosificación se muestra en la tabla 31.

Tabla 31 Resistencia de cilindros de concreto

| Proporción | R a/c | Resistencia PSI | | |
|------------|-------|-----------------|---------|---------|
| | | Edades | | |
| | | 7 días | 14 días | 28 días |
| 1:3:2 | 0.6 | 782.5 | 1355 | 1881 |
| | 0.7 | 610.8 | 1296 | 1784 |
| 1:5:2 | 0.6 | 421 | 812 | 827 |
| | 0.7 | 499 | 796 | 1276 |
| 1:2:2 | 0.6 | 940.7 | 1594 | 2259 |

Fuente: Elaboración Propia

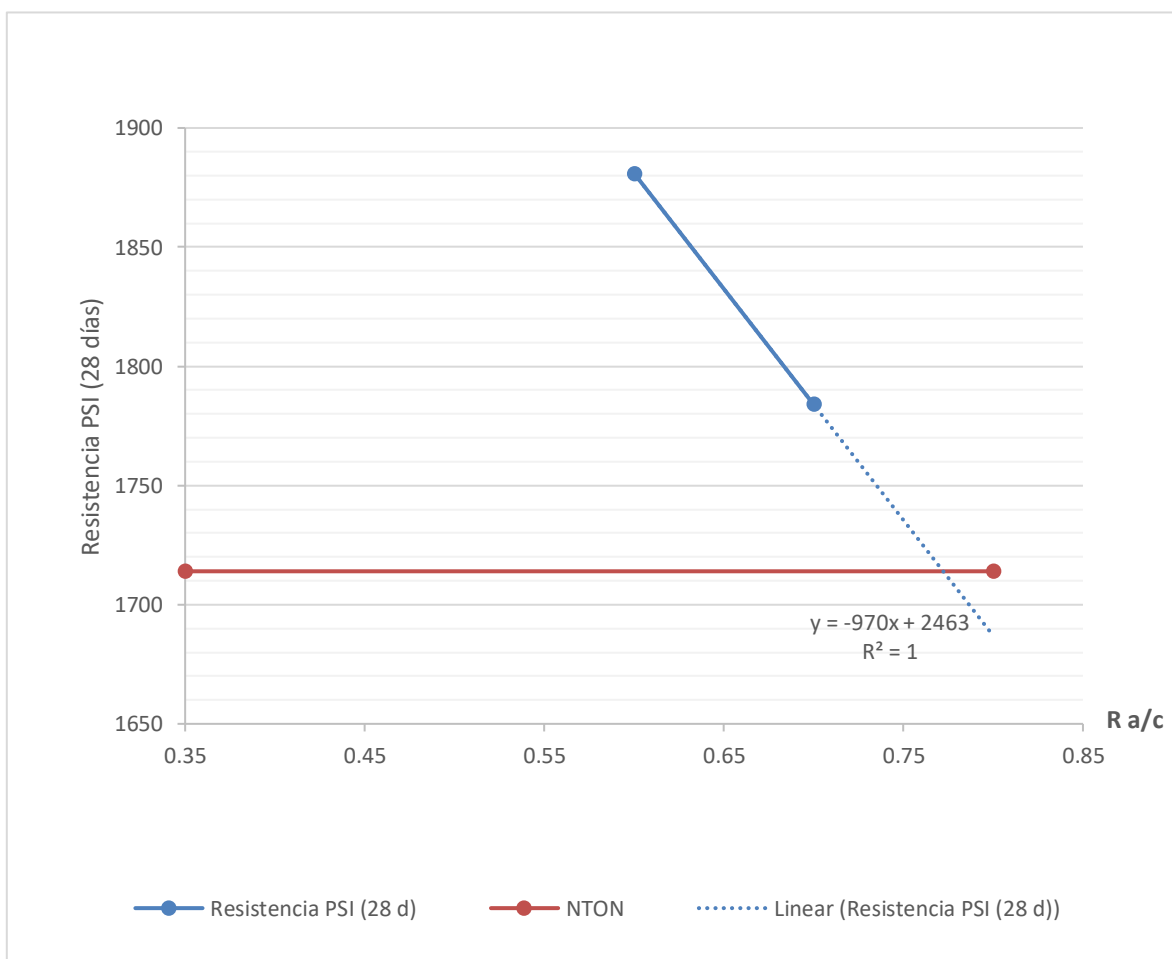
Gráfico 8 Resistencia a la compresión del concreto para proporción 1:3:2



Fuente: Elaboración propia

En el caso de las mezclas con proporción 1:3:2, brindan resultados favorables, por lo tanto se procedió a identificar la relación agua cemento óptima, para ello se elaboró un gráfico en el que se registra la resistencia a la compresión en función de la relación agua cemento y se seleccionó la relación agua cemento que cumple con la resistencia a compresión de 1714 psi.

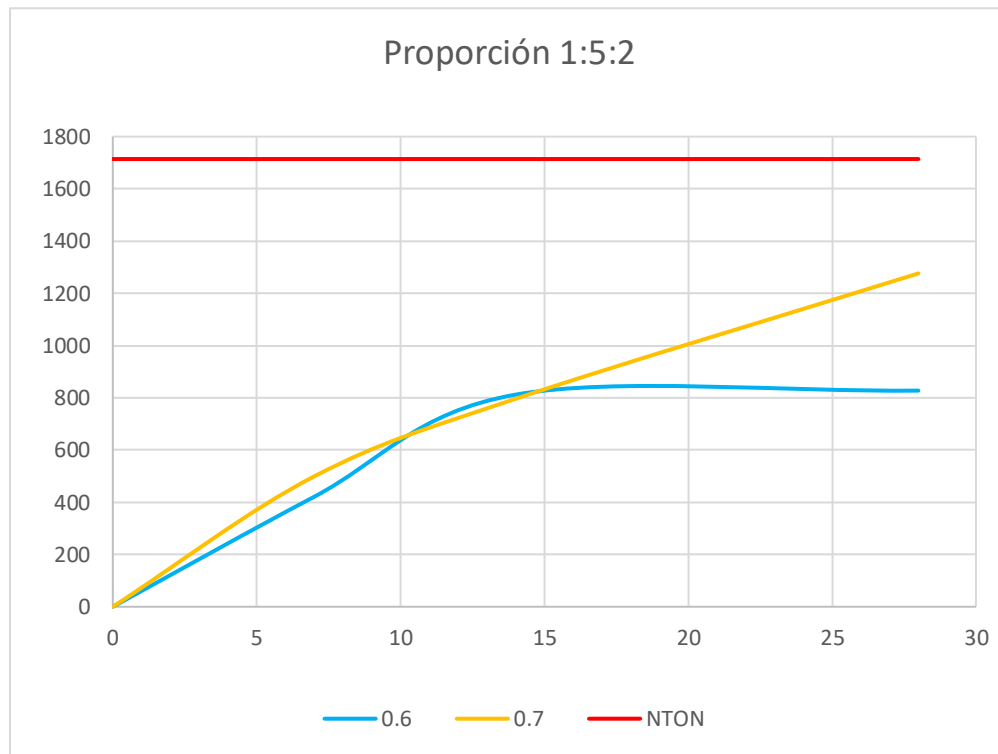
Gráfico 9 Selección de la relación a/c óptima para concreto



Fuente: Elaboración propia

El gráfico muestra que la relación a/c óptima para mezclas de concreto con proporción 1:3:2 es de 0.77, esta condición garantiza el cumplimiento de la resistencia a la compresión mínima a los 28 días de edad requerida por la NTON para fabricación de bloques de cemento.

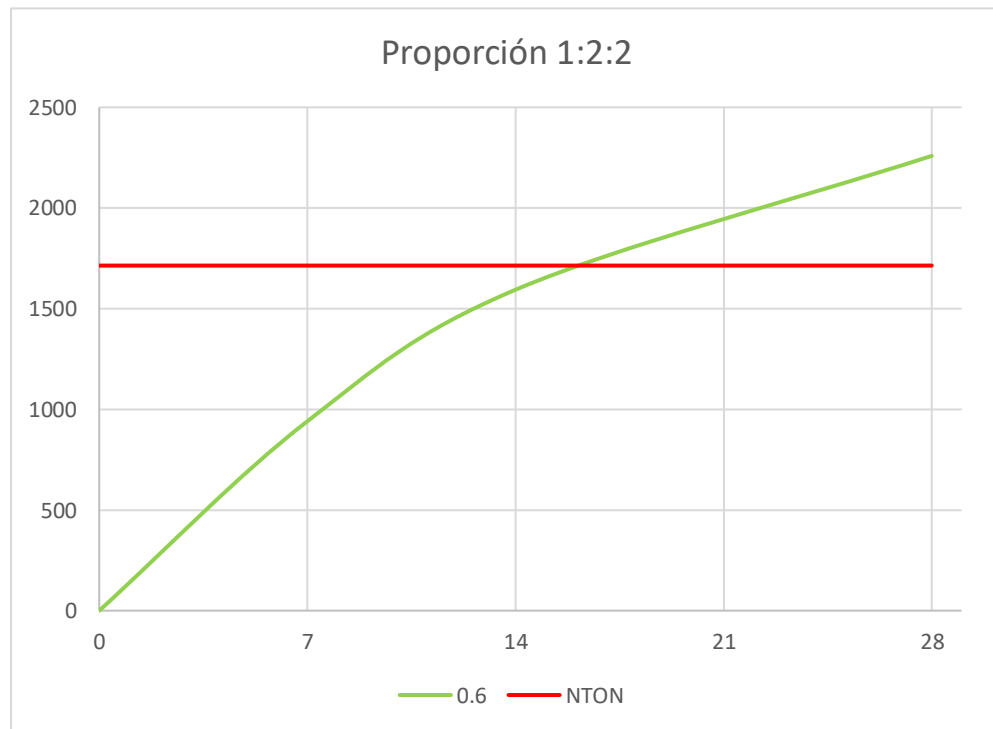
Gráfico 10 Resistencia a la compresión del concreto para proporción 1:5:2



Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se identifica que las mezclas elaboradas con la proporción 1:5:2 están por debajo de la resistencia a compresión requerida. Por esta razón, se decidió no reproducirla para la elaboración de bloques

Gráfico 11 Resistencia a la compresión del concreto para proporción 1:2:2



Fuente: Elaboración propia

La mezcla diseñada con proporción 1:2:2 y Relación a/c de 0.60 es la que presentó mejor comportamiento alcanzando una resistencia de 2259 PSI a los 28 días de edad cumpliendo así la resistencia requerida por la NTON. Esta mezcla será reproducida para fabricación de bloques de cemento.

3.2 Diseño de mezclas de mortero

El diseño de mezclas de mortero se realizó con el fin de identificar las dosificaciones óptimas y a través de ensayos de resistencia a la compresión de especímenes conocer el comportamiento de cada una de ellas.

Las proporciones de mortero están basadas en la información de las pruebas de caracterización del agregado fino y el material cementante.

Para llevar a cabo la dosificación de las mezclas de mortero fue necesaria la siguiente información:

- Análisis granulométrico del agregado fino.
- Peso volumétrico suelto y compacto del agregado fino.
- Peso específico y absorción de la arena.

Para la dosificación de mezclas de mortero se hizo uso de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio descritos en la tabla 32.

Tabla 32 Propiedades de los componentes de las mezclas de mortero

| Material | PVSS | PVSC | GE | %ABS | MF |
|----------|------|------|------|------|------|
| Cemento | 1130 | 1250 | 3.14 | - | - |
| Arena | 1452 | 1565 | 2.71 | 7.61 | 2.67 |

Fuente: Elaboración Propia

Proporcionamiento de mezclas de mortero

Propuesta de la relación agua/cemento

Para calcular la proporción adecuada se debe partir de una relación agua – cemento, por lo que se propusieron tres relaciones agua - cemento de 0.9, 0.6 y 0.4. Es importante destacar que esta propuesta se realiza buscando cumplir con resistencia a la compresión establecidas y además que las mezclas presentes la trabajabilidad ideal para la conformación de los bloques.

A continuación, se describe el diseño de mortero para una R a/c de 0.9.

Volumen de vacíos para un metro cúbico

Se determinó el volumen de vacíos para 1 m³ de mezcla, dicho volumen es el mismo de lechada necesario para 1 m³ de mortero.

Ecuación 33

$$Vol\ de\ lechada = 1 - \frac{PVSS\ arena}{Ge * \gamma}$$

$$Vol\ de\ lechada = 1 - \frac{1452kg/m^3}{2.71 * 1000kg/m^3} = 0.464\ m^3$$

Donde:

PVSS = peso volumétrico seco suelto

Ge = gravedad específica de la arena

γ = peso específico del agua

Volumen de lechada para 1 bolsa de cemento.

Se calculó el volumen de lechada para 1 bolsa de cemento, este volumen es igual a la suma del volumen del agua más el volumen de cemento. El cálculo se llevó a cabo sabiendo que una bolsa de cemento pesa 42.5 kg

Ecuación 34

$$Vol\ cemento = \frac{W_{cemento}}{Ge * \gamma_w}$$

$$Vol\ cemento = \frac{42.5kg}{3.14 * 1000kg/m^3} = 0.0135m^3$$

Ecuación 35

$$Peso\ de\ agua = R\ a/c * Wcemento$$

$$Peso\ de\ agua = 0.90 * 42.5kg = 38.25\ kg\ o\ lts$$

Ecuación 36

$$Vol\ agua = \frac{Wagua}{\gamma_w} = \frac{38.25kg}{1000kg/m^3} = 0.03825\ m^3$$

Ecuación 37

$$Vlechada = Vcemento + V\ agua$$

$$Vlechada = 0.013535\ m^3 + 0.03825\ m^3 = 0.051785\ m^3$$

Volumen de agua y cemento para 1 m³

Para el cálculo de estos volúmenes de cemento y lechada para 1m³ se utilizaron los volúmenes cemento y de lechada para una bolsa.

Ecuación 38

$$\frac{Vcemento\ 1m^3}{Vlechada\ 1m^3} = \frac{Vcemento\ 1bolsa}{Vlechada\ 1\ bolsa}$$

$$\frac{Vcemento\ 1m^3}{0.4642m^3} = \frac{0.013535m^3}{0.051785m^3} =$$

$$V\ cemento\ 1m^3 = 0.12133m^3$$

Ecuación 39

$$Vagua\ 1\ m^3 = \frac{Vagua\ 1\ bolsa * Vlechada\ 1m^3}{Vlechada\ 1\ bolsa}$$

$$Vagua = \frac{0.03825m^3 * 0.4642m^3}{0.051785m^3} = 0.34287\ m^3$$

Pesos de los materiales para 1 m³

Se determinó el peso de los materiales para 1 m³ haciendo uso de la siguiente ecuación:

Ecuación 40

$$Wcemento = Ge * Yw * Vcemento$$

$$Wcemento = 3.14 * 1000\ kg/m^3 * 0.12133\ m^3 = 380\ Kg$$

Ecuación 41

$$Warena = PVSS * Varena$$

$$Warena = 1452\ kg/m^3 * 1m^3 = 1452\ kg$$

Agua de Mezclado

El agua de mezclado es el agua de diseño más el agua absorbida por la arena menos el agua contenida por el agregado. En este caso, el agregado fino fue secado al horno por un periodo de ± 24 horas, por lo que no requiere la sustracción del contenido de humedad.

Ecuación 42

$$Ww = Ww\ diseño + Ww\ abs - Whumedad$$

Volumen suelto de los materiales

Ecuación 43

$$V_{cem} = \frac{W_{cem}}{PVSS} \qquad V_{cem} = \frac{380.92Kg}{1130kg/m^3} = 0.3371 \text{ m}^3$$

Ecuación 44

$$V_{arena} = \frac{W_{arena}}{PVSS} \qquad V_{arena} = \frac{1452Kg}{1452kg/m^3} = 1m^3$$

Ecuación 45

$$\frac{V_{cemento}}{V_{cemento}} = \frac{0.33371}{0.3371} = 1$$

Ecuación 44

$$\frac{V_{arena}}{V_{cemento}} = \frac{1}{0.3371} = 2.96$$

En la siguiente tabla se muestran las proporciones y relaciones agua – cemento de los diseños elaborados de mezclas de mortero.

Tabla 33 Proporciones de mezclas de mortero

| Relación Agua/cemento | 0.4 | 0.6 | 0.9 |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| Proporción | 1:1.75 | 1:2.25 | 1:2.96 |

Fuente: Elaboración propia

Al analizar las proporciones que resultaron de los diseños se logró identificar que las mezclas podrían ser costosas, por ello se seleccionó la proporción 1:2.96. Que al igual, por efectos económicos se propuso trabajar 1:3.

Empleando el método del tanteo se elaboraron diseños y mezclas con proporción 1:3 y relación agua – cemento de 0.40, 0.50, 0.65, 0.70, 0.80 y 0.90. Al reproducir estas mezclas se detectó que la fluidez para relaciones agua – cemento de 0.70, 0.80 y 0.90 eran demasiado altas, por lo que no permitirían la conformación del bloque.

En el caso de las mezclas reproducidas con relación agua – cemento de 0.40, 0.50 y 0.65 mostraron un mejor comportamiento respecto a la fluidez. Por lo que se procedió a darle seguimiento.

Con el objetivo de tener un mayor conocimiento del comportamiento de las mezclas de mortero que tengan un menor costo económico, se propuso elaborar mezclas de mortero con proporción 1:4 con las mismas relaciones agua – cemento que la mezcla anterior.

A continuación, se muestran las proporciones seleccionadas a reproducir.

Tabla 34 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.40

| Material | Proporción | Peso de material para un metro cúbico (kg) | Volumen suelto de material (m³) |
|-----------------|-------------------|---|---|
| Cemento | 1 | 467 | 0.413 |
| Arena | 3 | 1801 | 0.744 |
| Agua de diseño | | | 0.1868 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.50

| Material | Proporción | Peso de material para un metro cúbico (kg) | Volumen suelto de material (m³) |
|-----------------|-------------------|---|---|
| Cemento | 1 | 446 | 0.395 |
| Arena | 3 | 1720 | 1.184 |
| Agua de diseño | | 223 | 0.2230 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 36 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.65

| Material | Proporción | Peso de material para un metro cúbico (kg) | Volumen suelto de material (m³) |
|-----------------|-------------------|---|--|
| Cemento | 1 | 418 | 0.370 |
| Arena | 3 | 1612 | 1.110 |
| Agua de diseño | | | 0.2717 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:4 R a/c 0.40

| Material | Proporción | Peso de material para un metro cúbico (kg) | Volumen suelto de material (m³) |
|-----------------|-------------------|---|--|
| Cemento | 1 | 382 | 0.338 |
| Arena | 4 | 1965 | 1.350 |
| Agua de diseño | | | 0.1528 |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 38 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:4 R a/c 0.50

| Material | Proporción | Peso de material para un metro cúbico (kg) | Volumen suelto de material (m³) |
|-----------------|-------------------|---|--|
| Cemento | 1 | 368 | 0.326 |
| Arena | 4 | 1893 | 1.300 |
| Agua de diseño | | | 0.1840 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39 Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:4 R a/c 0.65

| Material | Proporción | Peso de material para un metro cúbico (kg) | Volumen suelto de material (m³) |
|-----------------|-------------------|---|--|
| Cemento | 1 | 349 | 0.309 |
| Arena | 4 | 1794 | 1.230 |
| Agua de diseño | | | 0.2268 |

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1 Elaboración de mezclas de mortero

Se elaboraron 6 mezclas de mortero, estas fueron de proporción 1:3 y 1:4 con relaciones agua/cemento de 0.40, 0.50 y 0.65, se fabricaron cubos de 2" x 2" x 2" para determinar la resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días y conocer su comportamiento. Estos ensayos se realizaron a razón de 3 especímenes por edad y dosificación.

Los especímenes de mortero para ensayos a compresión se elaboraron siguiendo las normas de la ASTM C – 109 para mortero de albañilería, usando el procedimiento de llenado de los moldes de 2" x 2" x 2" especificado. Los cubos fueron curados por inmersión en agua y la resistencia a la compresión se determinó aplicando cargas a los cubos en la máquina de compresión, tomando las consideraciones que establece la norma.

Ilustración 22 Fabricación de cubos de mortero



Ilustración 23 Cubos de mortero



Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Resultados de mezclas de mortero

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a los especímenes con de 7, 14 y 28 días. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 40 Resistencia de cubos de mortero.

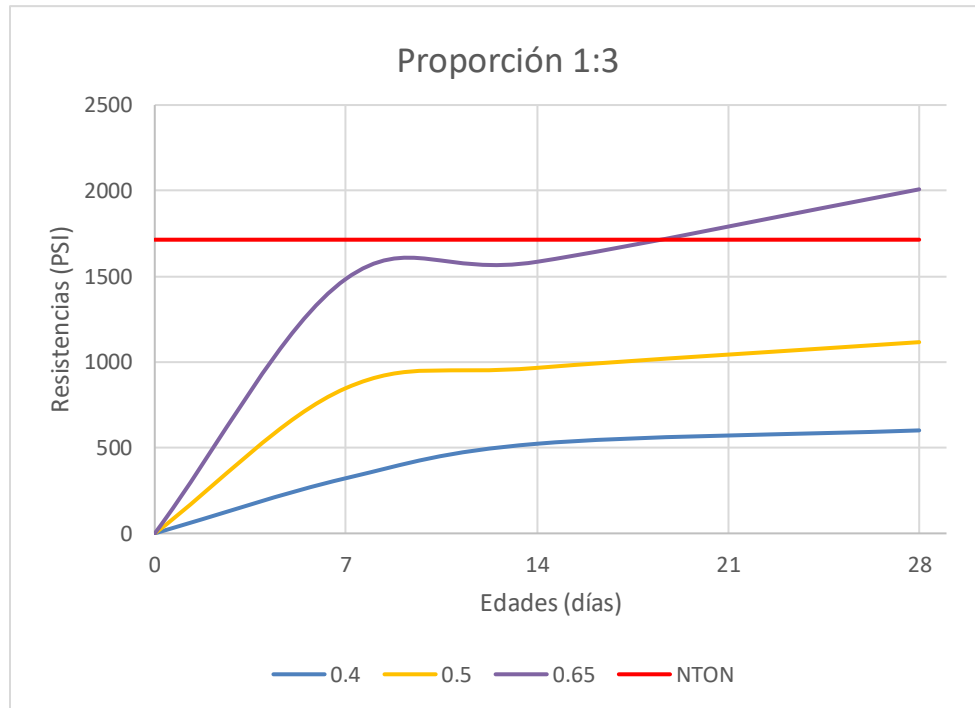
| Proporción | R a/c | Resistencia PSI | | |
|------------|-------|-----------------|---------|---------|
| | | Edades | | |
| | | 7 días | 14 días | 28 días |
| 1:3 | 0.4 | 322 | 523 | 601 |
| | 0.5 | 847.7 | 966 | 1116 |
| | 0.65 | 1485 | 1585 | 2008 |
| 1:4 | 0.4 | 280.8 | 463.9 | 525 |
| | 0.5 | 821 | 1002 | 1041 |
| | 0.65 | 1217 | 1428 | 1534 |

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos muestran que a medida que se incrementa la relación agua – cemento, también incrementa la resistencia a la compresión de las mezclas de mortero, esta condición contradice las teorías que se han planteado en las distintas bibliografías.

Sin embargo consideramos que esto se debió a la dificultad que muestran las mezclas para acomodarse a medida que son más secas caso que ocurrió con las relaciones agua cemento de 0.4 y 0.5, teniendo un mejor acomodamiento de las partículas las mezclas con 0.6 de relación agua cemento desarrollando mayor resistencia.

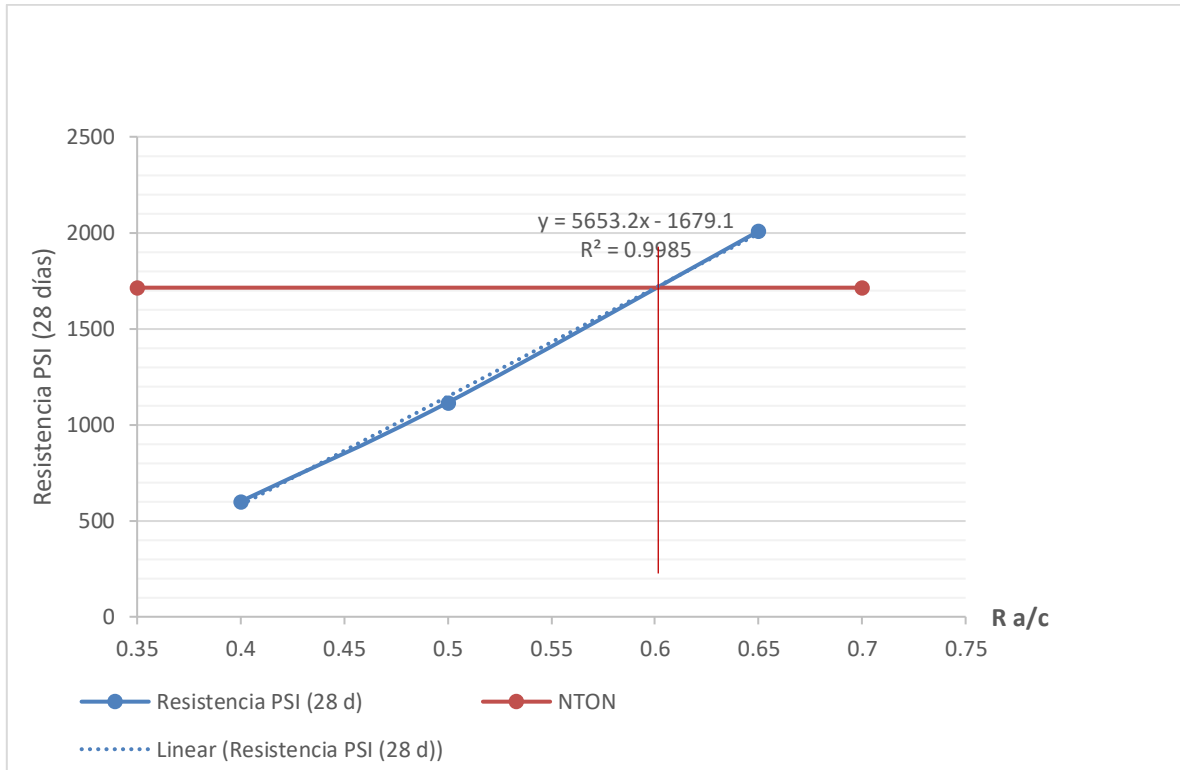
Gráfico 12 Resistencia a la compresión del mortero proporción 1:3



Fuente: Elaboración Propia

La mezcla diseñada con proporción 1:3 y Relaciones a/c 0.40 y 0.50 no cumplieron con la resistencia mínima requerida por la NTON para fabricación de bloques de cemento, sin embargo la mezcla con R a/c de 0.65 adquirió una resistencia final de 2008 psi a los 28 días de edad, siendo la óptima para reproducción en bloques.

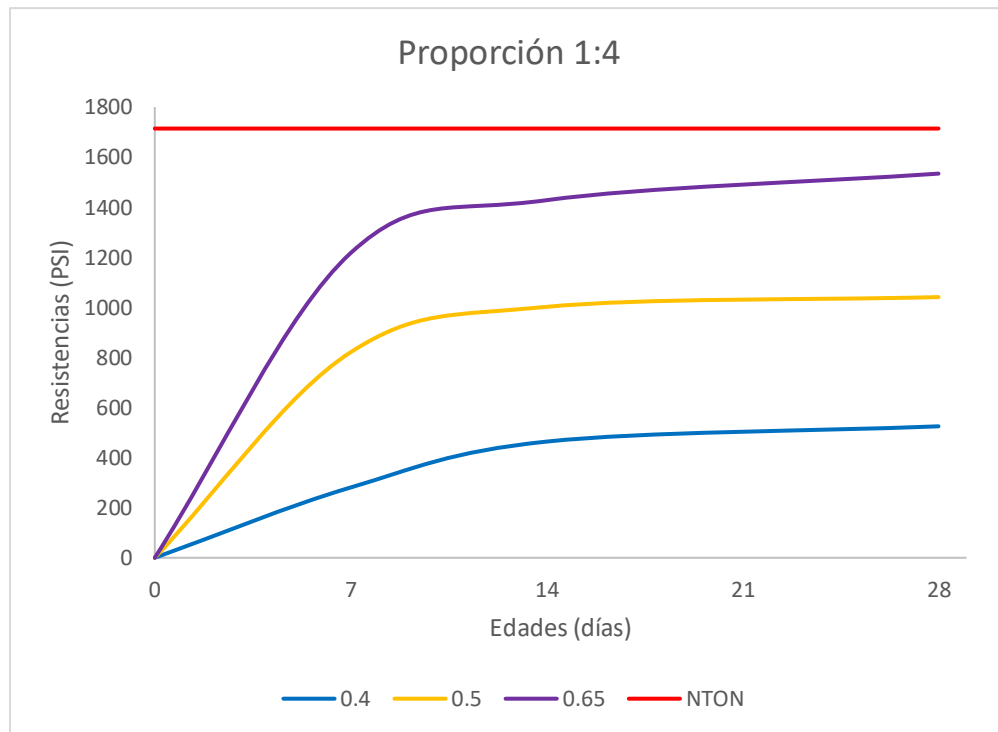
Gráfico 13 Selección de Relación a/c óptima para mortero



Fuente: Elaboración propia

El gráfico muestra que la R a/c óptima para mezclas de mortero con proporción 1:3 es de 0.60, esta condición garantiza el cumplimiento de la resistencia mínima a los 28 días de edad requerida por la NTON para fabricación de bloques a base de cemento.

Gráfico 14 Resistencia a la compresión del mortero, proporción 1:4



Fuente: Elaboración Propia

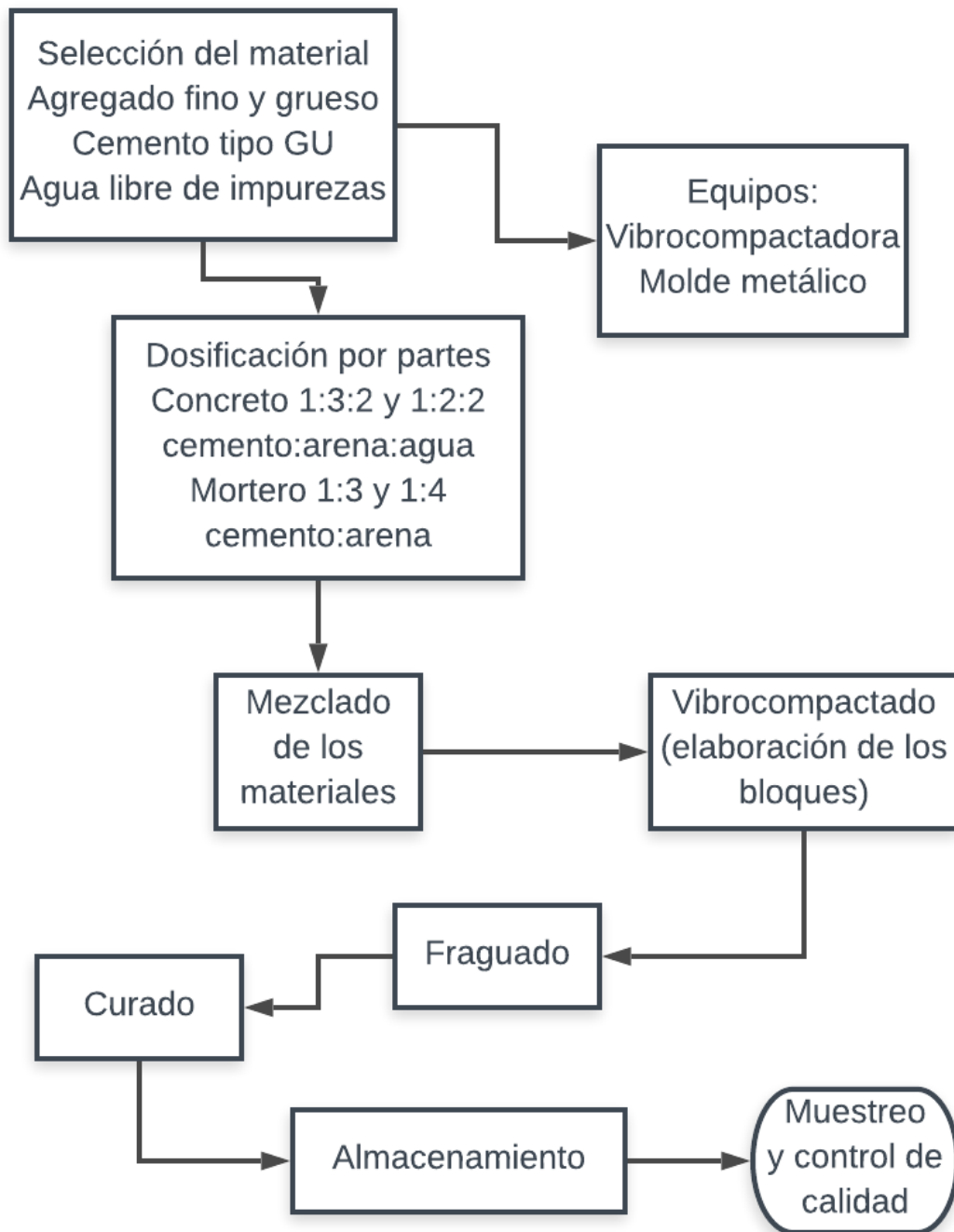
Las mezclas diseñadas con proporción 1:4 y Relaciones a/c de 0.40, 0.50 y 0.65 no cumplieron con la resistencia mínima requerida por la NTON, sin embargo, la mezcla con R a/c de 0.65 será reproducida para fabricación de bloques, esto con el fin de compararla con la mezcla de concreto 1:2:2 R a/c 0.60.

Capítulo IV: Fabricación de bloques de mortero y concreto

Según el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (2006), los bloques de concreto son producidos prácticamente en todo el mundo, las características que brindan las materias primas que los constituyen permiten crear piezas de distintos tamaños, formas y resistencia mecánica. Sin embargo, aunque los llamamos bloques de concreto en Nicaragua son en realidad producidos de mortero, sin la presencia de grava.

Los bloques se elaboran con una mezcla relativamente seca de cemento, agregados, agua y en algunos casos pigmentos (colorantes) y aditivos que se utilizan para conformar muros o paredes. El material se moldea, compacta y cura en condiciones controladas, que garantizan la obtención de las propiedades y características para cumplir con la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense NTON 12 008 - 16 tales como la resistencia, baja absorción y uniformidad.

Ilustración 24 Flujograma de Producción de bloques



Fuente: Elaboración Propia

4.1 Esquema de fabricación de bloques de concreto y mortero

Para la fabricación de bloques seguimos pasos básicos tales como:

4.1.1 Almacenamiento de los materiales

Los agregados gruesos y finos se almacenaron a la intemperie por no contar con un área techada, por ello, se determinó la humedad in situ, además se cribaron los agregados gruesos y finos para eliminar el sobre tamaño e impurezas que pudieran contener. El cemento fue almacenado en el laboratorio sobre tarimas para evitar la humedad del suelo.

4.1.2 Dosificación

Este proceso consiste en definir las cantidades (proporciones) que se van a utilizar de cada uno de los materiales (cemento, agregados y agua) con el fin de obtener la resistencia adecuada para las unidades de concreto. Las proporciones de la materia prima se hicieron en peso para mayor exactitud en las cantidades de material.

En base a los resultados obtenidos en laboratorio a través de ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días de edad de especímenes de mortero y concreto, se seleccionaron como mezcla óptima para fabricación de bloques de mortero, las proporciones 1:3 y 1:4 con relaciones a/c de 0.65, por otro lado, para los bloques de concreto se seleccionaron proporciones 1:3:2 con relación a/c de 0.60 y 0.70 y proporción 1:2:2 con relación a/c de 0.60.

Las proporciones de las mezclas se realizaron en base a una bolsa de cemento y se definen de la siguiente manera:

Mortero

Tabla 41 Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:4

| R a/c: 0.39 | | |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Pesos de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 42.5 | Kg |
| Arena | 218.4 | Kg |
| Agua | 16.6 | lts |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42 Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3

| R a/c: 0.38 | | |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Pesos de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 42.5 | Kg |
| Arena | 181.8 | Kg |
| Agua | 16.0 | lts |

Fuente: Elaboración Propia

Concreto

Tabla 43 Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3:2

| R a/c: 0.48 | | |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Pesos de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 42.5 | Kg |
| Arena | 180.6 | Kg |
| Grava | 112.2 | Kg |
| Agua | 20.2 | lts |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44 Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:2:2

| R a/c: 0.39 | | |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------|
| Pesos de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 42.5 | Kg |
| Arena | 111.2 | Kg |
| Grava | 121.2 | Kg |
| Agua | 16.64 | lts |

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 Elaboración de la mezcla

La preparación de las mezclas de concreto y mortero se hizo mediante un proceso caracterizado como semi industrial. Los materiales fueron mezclados en cantidades calculadas por bolsa de cemento y de forma tal que la humedad fuera distribuida uniformemente.

Las mezclas seleccionadas para fabricación de bloques fueron ajustadas en cuanto a sus relaciones a/c, así pues, se fijaron relaciones a/c de 0.38 para mortero 1:3 y 0.39 para mortero 1:4 mientras que el concreto proporción 1:3:2 se trabajó con R a/c de 0.48 y el concreto 1:2:2 con 0.39. Con estos ajustes se obtuvo una mezcla seca que permitió mantener la forma del bloque una vez desmoldado.

4.1.4 Elaboración de los bloques

Para la fabricación de los bloques de concreto y mortero se utilizó una máquina de tipo estática, es decir que ésta permanece en un solo sitio y lo que se mueve es el bloque recién producido. Para tal efecto se utilizaron tablas de madera cubiertas con plástico que se colocaron al iniciar la operación y constituyeron la tapa inferior del molde; una vez retirado éste, los bloques quedaron sobre las tablas y se manipularon con facilidad.

Se utilizó un molde rígido y fuerte para obtener como resultado unidades con dimensiones exactas y constantes.

Una vez preparada la mezcla se vació en el molde y posteriormente se vibrocompactó a fin de eliminar bolsas de aire que se producen en dicho proceso. Los tiempos de vibrado variaron de 5 a 6 segundos por bandeja de tres bloques, a continuación, se retiró el molde y se transportaron hacia una superficie plana y firme que permitió seguir el proceso de fabricación de una manera apropiada.

Ilustración 25 Bloques



Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Almacenamiento de los elementos

La zona destinada para el almacenamiento de los bloques debe ser suficiente para mantener la producción y permitir que después del curado se sequen lentamente. Los elementos fabricados permanecieron en la zona de almacenamiento hasta la fecha de realización del último ensayo de resistencia a la compresión.

Se identificó cada lote con el fin de tener un control del día de fabricación y del tipo de mezcla.

4.1.6 Curado de los bloques

El curado consiste en mantenerlos húmedos para permitir que continúe la reacción química del cemento, con el fin de obtener una buena calidad, es decir, gran resistencia.

Los bloques se colocaron en filas y dejando una separación entre ellos para que se puedan humedecer perfectamente por todos los lados y se permita la circulación de aire. El proceso de curado de los bloques se llevó a cabo regándolos durante un período de 28 días humedeciéndolos dos veces al día.

Ilustración 26 Curado de bloques



Fuente: Elaboración propia

4.2 Determinación de las propiedades de bloques de mortero y concreto

Para la determinación de las propiedades (dimensión, absorción y resistencia a la compresión) de los bloques de cemento, se tomó una muestra de tres piezas por ser un lote menor a 10000 unidades como lo establece la NTON 12 008 – 16. Sección 7.1 Muestreo. Ver anexo V.

Se determinó el área neta de las unidades de bloques por el método de la balanza hidrostática el cual consistió en saturar los elementos por un período de 24 horas, luego se registró el peso en el aire y a continuación, se sumergieron en la balanza hidrostática para determinar el peso sumergido y proseguir al cálculo con ayuda de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 46

$$V = \frac{W_{sss} - W_{sum}}{\gamma_w}$$

Donde:

V = volumen

W_{sss} = peso en condición saturado superficialmente seco

W_{sum} = peso sumergido

γ_w = densidad del agua

Ecuación 47

$$A = \frac{V}{h}$$

Donde:

A = área del elemento

V = volumen

h = altura

Tabla 45 Área promedio de los bloques

| Elemento | Volumen (cm ³) | Área (cm ²) | Área (plg ²) |
|----------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| B1 | 6143.5 | 326.21 | 50.58 |
| B2 | 6139.3 | 322.56 | 50.01 |
| B3 | 6196.9 | 323.32 | 50.13 |
| Área Promedio | | | 50.23 |

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 27 Procedimiento para determinar el área de los bloques



Fuente: Elaboración Propia

4.2.1 Dimensiones

La dimensión real es la medida de cada pieza obtenida por medición mediante el método de ensayo ASTM C 140.

Los bloques se fabrican manteniendo constante las dimensiones reales, la altura y el largo en 19 cm x 39 cm respectivamente, variando únicamente el ancho el cual debe ser como mínimo 10 cm. Estas dimensiones no deben diferir ± 3 mm de las dimensiones de fabricación.

Los bloques fabricados de mortero y concreto tienen dimensiones de 15 x 19 x 39 cm. En la tabla 46 se puede verificar que las dimensiones de los bloques fabricados respetan las establecidas por la NTON.

Tabla 46 Dimensiones promedio de los bloques

| Dimensión | Elemento | | | Promedio | |
|-----------|----------|------|------|----------|------|
| | B1 | B2 | B3 | | |
| Ancho 1 | 15.1 | 15.0 | 15.1 | 15.1 | 15.0 |
| Ancho 2 | 14.9 | 14.9 | 14.8 | 14.8 | |
| Ancho 3 | 15.0 | 15.0 | 15.1 | 15.0 | |
| Altura 1 | 19.0 | 19.1 | 19.3 | 19.1 | 19.0 |
| Altura 2 | 18.7 | 19.0 | 19.1 | 18.9 | |
| Altura 3 | 18.8 | 19.0 | 19.1 | 19.0 | |
| Largo 1 | 39.2 | 39.0 | 39.0 | 39.1 | 39.1 |
| Largo 2 | 39.1 | 39.1 | 39.0 | 39.1 | |
| Largo 3 | 39.0 | 39.0 | 39.1 | 39.0 | |

Fuente: Elaboración Propia

En base a los resultados promedios obtenidos de las dimensiones de los bloques fabricados de mezclas de concreto y mortero, podemos decir que los elementos cumplen con la normativa correspondiente ya que sus dimensiones no difieren en más de 3 mm.

4.2.2 Absorción

Para determinar la absorción de los elementos de mortero y concreto se analizaron 3 muestras, se saturaron las piezas por inmersión durante un periodo de 24 horas y se registró el peso de las piezas, a continuación, se llevaron al horno para secarlas durante el periodo antes descrito, anotamos el peso seco y proseguimos con el cálculo.

Ecuación 48

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} * 100$$

Donde:

W_{sss} = peso saturado superficialmente seco

W_s = peso secado al horno

En las siguientes tablas se muestra la absorción de cada unidad por proporción de elemento fabricado.

Tabla 47 Absorción del bloque Proporción 1:3

| Elemento | Peso Seco (kg) | Peso SSS (kg) | Absorción % |
|-----------------|----------------|---------------|--------------|
| B1 | 12.43 | 14.07 | 13.23 |
| B2 | 12.28 | 13.97 | 13.80 |
| B3 | 13.33 | 14.94 | 13.12 |
| Promedio | 12.68 | 14.33 | 13.05 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48 Absorción del bloque Proporción 1:4

| Elemento | Peso Seco (kg) | Peso SSS (kg) | Absorción % |
|-----------------|----------------|---------------|--------------|
| B1 | 10.90 | 13.11 | 20.24 |
| B2 | 11.15 | 13.45 | 20.59 |
| B3 | 11.81 | 14.09 | 19.32 |
| Promedio | 11.29 | 13.55 | 20.05 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49 Absorción del bloque Proporción: 1:3:2

| Elemento | Peso Seco (kg) | Peso SSS (kg) | Absorción % |
|-----------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| B1 | 13.18 | 14.86 | 12.72 |
| B2 | 13.31 | 15.03 | 12.96 |
| B3 | 13.53 | 15.13 | 11.76 |
| Promedio | 13.34 | 15.01 | 12.48 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 50 Absorción del bloque Proporción: 1:2:2

| Elemento | Peso Seco (kg) | Peso SSS (kg) | Absorción % |
|-----------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| B1 | 13.84 | 15.06 | 8.80 |
| B2 | 13.76 | 14.93 | 8.49 |
| B3 | 14.40 | 15.43 | 7.13 |
| Promedio | 14.00 | 15.14 | 8.14 |

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas anteriores se muestran los porcentajes de absorción correspondientes a los bloques fabricados de mortero y concreto, se puede verificar que solo el bloque con proporción 1:2:2 cumplieron con el requerimiento de la NTON para esta propiedad que es un máximo de 10%. Sección 7.2 Ensayos.

4.2.3 Resistencia a la compresión de bloques de concreto y mortero

Los bloques de concreto, son usados sin duda porque son económicos, acústicos, impermeables, resistentes al fuego y capaces de resistir grandes cargas de compresión. Esta última propiedad es de gran importancia, si se considera que está relacionada con la resistencia final de un muro o pared.

El ensayo de resistencia a la compresión axial se realiza mediante la aplicación de una fuerza perpendicular a la cara del bloque y paralela a la altura de la pieza de mampostería. La NTON 12 008 - 16 define los parámetros para evaluar la resistencia de un elemento y se describen en la tabla 17.

Se presenta la resistencia promedio de 3 muestras de bloques por dosificación y edad a excepción de la resistencia a la compresión a los 28 días de edad ya que para esta la norma establece que deben ensayarse un mínimo de 6 muestras.

En las tablas 51 y 54 se muestra las resistencias a la compresión de todos los elementos ensayados por edad y proporción para mezclas de mortero. Para obtener los resultados promedios se descartó los resultados que presentan un comportamiento fuera de lo normal en comparación con los otros especímenes.

Tabla 51 Resistencia a la compresión de bloques de mortero

| Mortero | Id. del elemento | Carga de ruptura | Resistencia PSI | Desviación estándar | Mín. | Máx. |
|----------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------|--------|--------|
| Proporción 1:3 | 7d-B1 | 46640 | 928.5 | 73.7 | 784.2 | 931.7 |
| | 7d-B2 | 43400 | 864.0 | | | |
| | 7d-B3 | 39250 | 781.4 | | | |
| | 14d-B1 | 59600 | 4186.5 | 69.9 | 1037.0 | 1176.8 |
| | 14d-B2 | 54180 | 1078.6 | | | |
| | 14d-B3 | 53020 | 1055.5 | | | |
| | 28d-B1 | 75320 | 1499.5 | 216.2 | 1194.0 | 1626.3 |
| | 28d-B2 | 69800 | 1389.6 | | | |
| | 28d-B3 | 62880 | 1251.8 | | | |
| | 28d-B4 | 90530 | 1802.3 | | | |
| | 28d-B5 | 64100 | 1276.1 | | | |
| | 28d-B6 | 62360 | 1241.5 | | | |
| | | | | | | |
| Proporción 1:4 | 7d-B1 | 21090 | 419.9 | 23.1 | 401.6 | 447.7 |
| | 7d-B2 | 20310 | 404.3 | | | |
| | 7d-B3 | 22590 | 449.7 | | | |
| | 14d-B1 | 23390 | 465.7 | 86.2 | 478.7 | 651.2 |
| | 14d-B2 | 31210 | 621.3 | | | |
| | 14d-B3 | 30530 | 607.8 | | | |
| | 28d-B1 | 40520 | 806.7 | 71.8 | 707.2 | 850.7 |
| | 28d-B2 | 32070 | 638.5 | | | |
| | 28d-B3 | 41400 | 824.2 | | | |
| | 28d-B4 | 41170 | 819.6 | | | |
| | 28d-B5 | 41020 | 816.6 | | | |
| | 28d-B6 | 38580 | 768.1 | | | |

Fuente: Elaboración propia

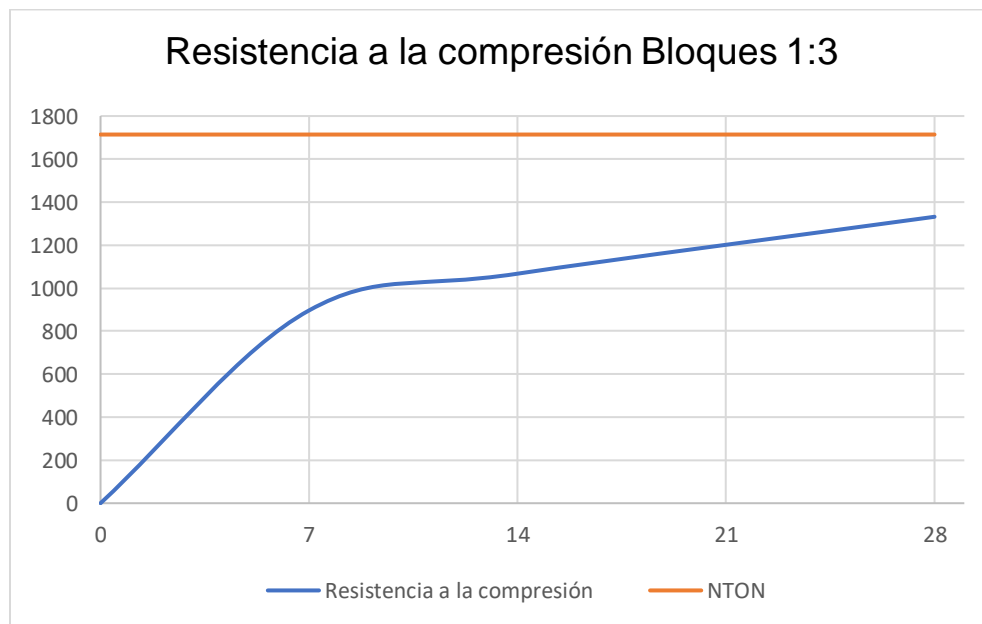
En la tabla 51 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión que se realizaron para bloques de mortero por edad y proporción. Para obtener los promedios se descartó los resultados no representativos que corresponden a datos fuera del límite mínimo y máximo obtenido del cálculo de la desviación estándar. Posterior a ello, se promedió los datos que cumplen la condición antes descrita y se muestran en la siguiente tabla. Este procedimiento se realizó para bloques de mortero y concreto.

Tabla 52 Resistencia promedio de bloques de mortero 1:3

| Mortero | Edad (días) | Resistencia promedio (PSI) |
|-----------------------|-------------|----------------------------|
| Proporción 1:3 | 7 | 896.3 |
| | 14 | 1067.1 |
| | 28 | 1331.7 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 15 Resistencia a la compresión de bloques de mortero 1:3



Fuente: Elaboración propia

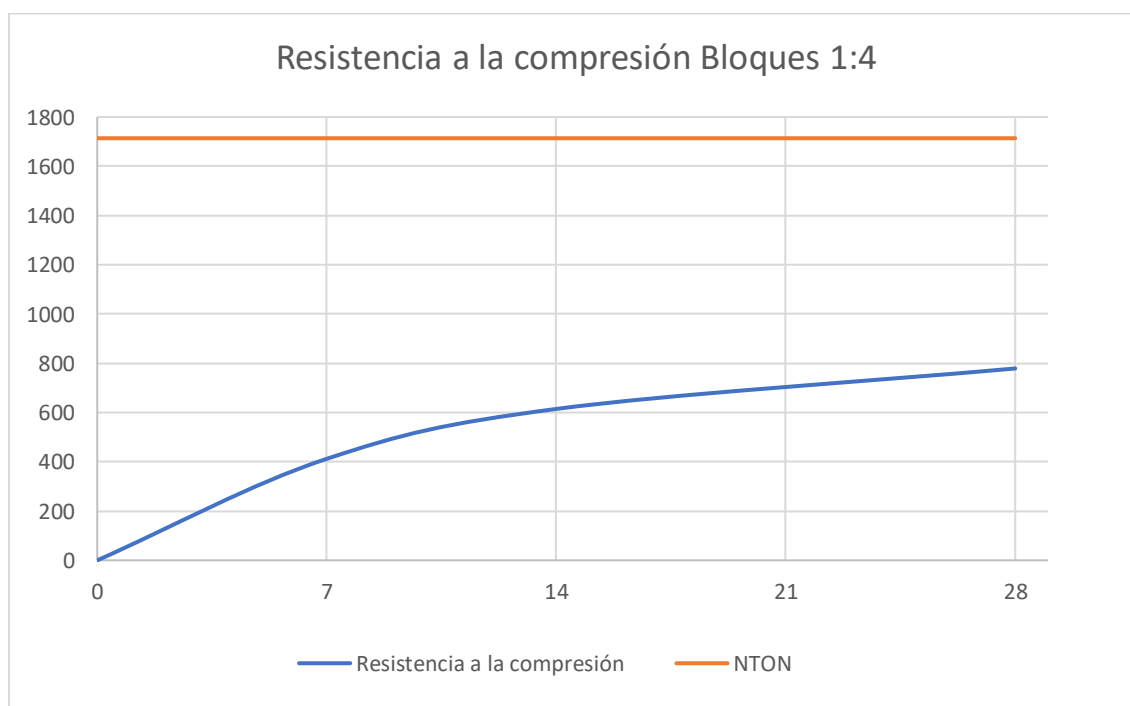
El gráfico 15 describe la resistencia a la compresión a los 28 días de fabricados los bloques de mortero proporción 1:3, además representa la resistencia mínima a los 28 días de edad requerida por la NTON 12 008 - 16. Se observa que los datos obtenidos a través de ensayos de laboratorio no cumplen con la resistencia mínima para fabricación de bloques de cemento establecida por la norma antes mencionada.

Tabla 53 Resistencia promedio de bloques de mortero 1:4

| Mortero | Edad (días) | Resistencia promedio (PSI) |
|-----------------------|-------------|----------------------------|
| Proporción 1:4 | 7 | 412.1 |
| | 14 | 614.6 |
| | 28 | 779.0 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 16 Resistencia a la compresión de bloques de mortero 1:4



Fuente: Elaboración propia

Los bloques fabricados con mortero proporción 1:4 difieren por mucho con la resistencia mínima a los 28 días de edad requerida por la NTON (representada por la línea roja en el gráfico). Estos elementos arrojan una resistencia promedio de 779 psi.

Tabla 54 Resistencia a la compresión de bloques de concreto

| Resistencia a la compresión de bloques de concreto | | | | | | |
|--|------------------|------------------|-----------------|------------|--------|--------|
| Concreto | Id. del elemento | Carga de ruptura | Resistencia PSI | Desviación | Mín. | Máy. |
| Proporción 1:3:2 | 7d-B1 | 30680.0 | 610.8 | 39.4 | 610.3 | 689.1 |
| | 7d-B2 | 34640.0 | 689.6 | | | |
| | 7d-B3 | 32590.0 | 648.8 | | | |
| | 14d-B1 | 42480.0 | 845.7 | 16.6 | 831.6 | 864.7 |
| | 14d-B2 | 43490.0 | 865.8 | | | |
| | 14d-B3 | 41840.0 | 833.0 | | | |
| | 28d-B1 | 50360.0 | 1002.6 | 120.3 | 776.0 | 1016.7 |
| | 28d-B2 | 44860.0 | 893.1 | | | |
| | 28d-B3 | 46320.0 | 922.2 | | | |
| | 28d-B4 | 48080.0 | 957.2 | | | |
| | 28d-B5 | 33270.0 | 662.4 | | | |
| | 28d-B6 | 47260.0 | 940.9 | | | |
| | | | | | | |
| Proporción 1:2:2 | 7d-B1 | 55970 | 1114.3 | 15.8 | 1099.7 | 1131.2 |
| | 7d-B2 | 55270 | 1100.3 | | | |
| | 7d-B3 | 56850 | 1131.8 | | | |
| | 14d-B1 | 85780 | 1707.7 | 61.0 | 1582.3 | 1704.4 |
| | 14d-B2 | 79680 | 1586.3 | | | |
| | 14d-B3 | 82180 | 1636.1 | | | |
| | 28d-B1 | 106700 | 2124.2 | 279.3 | 2158.3 | 2716.9 |
| | 28d-B2 | 131500 | 2618.0 | | | |
| | 28d-B3 | 139200 | 2771.3 | | | |
| | 28d-B4 | 127800 | 2544.3 | | | |
| | 28d-B5 | 104100 | 2072.5 | | | |
| | 28d-B6 | 125350 | 2495.5 | | | |

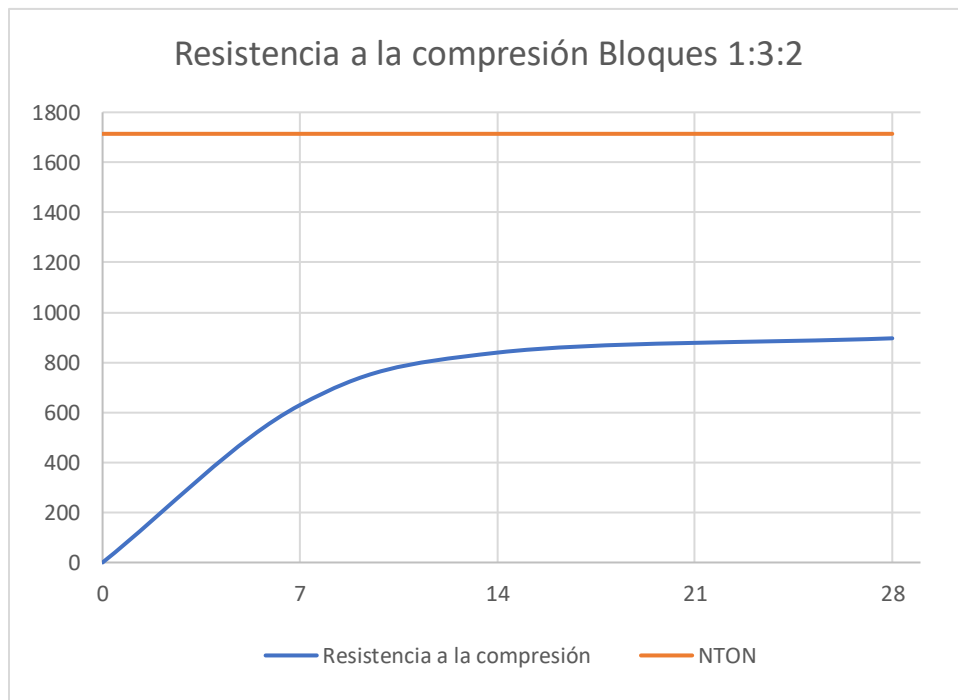
Fuente: Elaboración propia

Tabla 55 Resistencia promedio de bloques de concreto 1:3:2

| Concreto | Edad (días) | Resistencia promedio (PSI) |
|-------------------------|-------------|----------------------------|
| Proporción 1:3:2 | 7 | 629.8 |
| | 14 | 839.3 |
| | 28 | 896.4 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 17 Resistencia a la compresión de bloques de concreto 1:3:2



Fuente: Elaboración propia

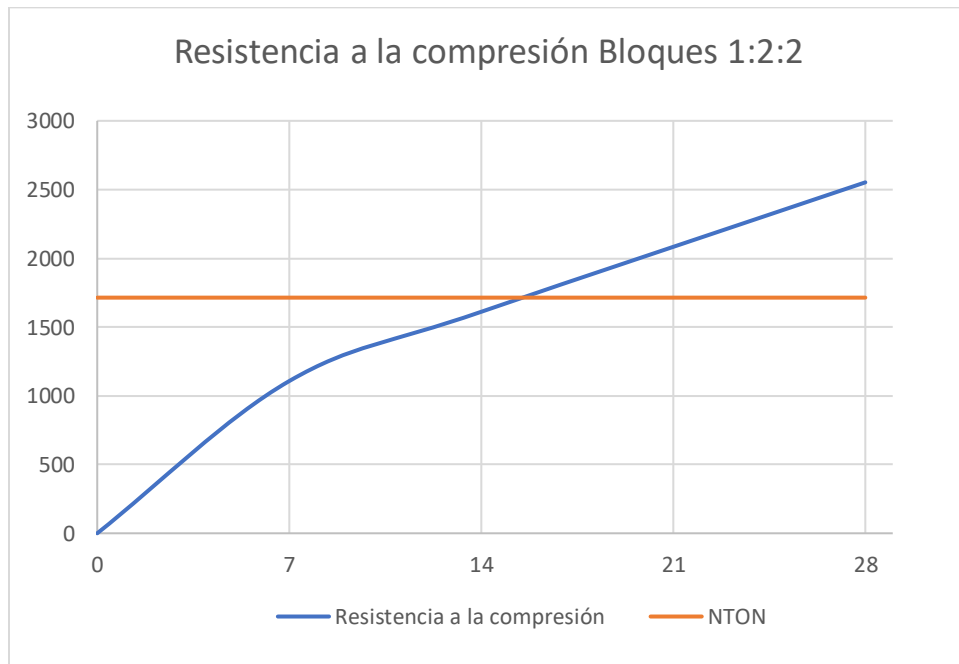
El gráfico 17 muestra la resistencia a los 28 días de fabricados los bloques de concreto proporción 1:3:2 así como también la resistencia requerida por la NTON 12 008 – 16 a la misma edad. Los elementos producidos con la dosificación antes mencionada, no cumplen con la normativa para fabricación de bloques de cemento. Se obtuvo una resistencia promedio a los 28 días de edad de 896.4 psi.

Tabla 56 Resistencia promedio de bloques de concreto 1:2:2

| Concreto | Edad (días) | Resistencia promedio (PSI) |
|-------------------------|-------------|----------------------------|
| Proporción 1:2:2 | 7 | 1107.3 |
| | 14 | 1611.2 |
| | 28 | 2552.6 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 18 Resistencia a la compresión de bloques de concreto 1:2:2



Fuente: Elaboración propia

Los bloques de concreto con proporción 1:2:2 arrojaron excelentes resultados en los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días de fabricados. Estos elementos alcanzaron una resistencia promedio de 2552.6 psi, por consiguiente se dice que cumplen con la NTON 12 008 – 16 para fabricación de bloques de cemento.

4.3 Análisis de las propiedades físicas de los bloques de concreto y mortero

4.3.1 Absorción

Los datos promedios arrojados por los ensayos de laboratorio para bloques de mortero fueron de 13.05% para la proporción 1:3 y 20.05% para la proporción 1:4. La absorción de los elementos de mortero resultaron muy por encima de lo establecido por la NTON 12 008 – 16 la cual establece que la absorción máxima para bloques de cemento debe ser del 10%.

La absorción de los bloques de mortero no son similares entre ellas, lo cual indica que la porción de agregado fino adicionado para la proporción 1:4 a diferencia de la 1:3 afecta significativamente la permeabilidad de los elementos.

Los bloques de concreto tuvieron un mejor comportamiento ya que la absorción para la proporción 1:3:2 fue de 12.48% y 8.14% para la proporción 1:2:2, esta dosificación es la única que cumple con lo establecido por la NTON.

4.3.2 Pesos

La tabla 58 y 59 describen los pesos promedios de los bloques fabricados. Los bloques de mortero muestran un menor peso por unidad que los bloques de concreto, estos valores se deben principalmente a que los agregados gruesos participantes en las mezclas de concreto tienen densidades mayores con respecto al agregado fino.

Tabla 57 Peso de los bloques de mortero

| Mortero | Elemento | Condición seca (kg) | Condición saturada (kg) |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Proporción 1:3 | B1 | 12.43 | 14.07 |
| | B2 | 12.28 | 13.97 |
| | B3 | 13.33 | 14.94 |
| | Promedio | 12.68 | 14.33 |
| Proporción 1:4 | B1 | 10.91 | 13.12 |
| | B2 | 11.15 | 13.45 |
| | B3 | 11.81 | 14.1 |
| | Promedio | 11.29 | 13.55 |

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los resultados entre los bloques de mortero, se observa que los pesos obtenidos para bloques en condición saturada, son mayores que los que están en condición seca, lo cual es un resultado esperado, pues el agua se acumula en los poros del elemento y genera un aumento de su masa.

De manera general, los resultados de los pesos obtenidos para los bloques de mortero en condición seca se encontraron en un promedio de 12.68 kg para proporción 1:3 y 11.29 kg para proporción 1:4.

Tabla 58 Peso de los bloques de concreto

| Mortero | Elemento | Condición seca (kg) | Condición saturada (kg) |
|-------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------|
| Proporción 1:3:2 | B1 | 13.18 | 14.86 |
| | B2 | 13.31 | 15.04 |
| | B3 | 13.53 | 15.13 |
| | Promedio | 13.35 | 15.01 |
| Proporción 1:2:2 | B1 | 13.85 | 15.07 |
| | B2 | 13.76 | 14.93 |
| | B3 | 14.40 | 15.43 |
| | Promedio | 14.00 | 15.14 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los pesos de bloques de concreto muestran un promedio de 13.5 kg para la proporción 1:3:2 y 14.0 kg para la proporción 1:2:2, ambas en condición seca, en cambio, las densidades promedios en condición saturada se muestran en 15.01 kg para proporción 1:3:2 y 15.14 kg para proporción 1:2:2.

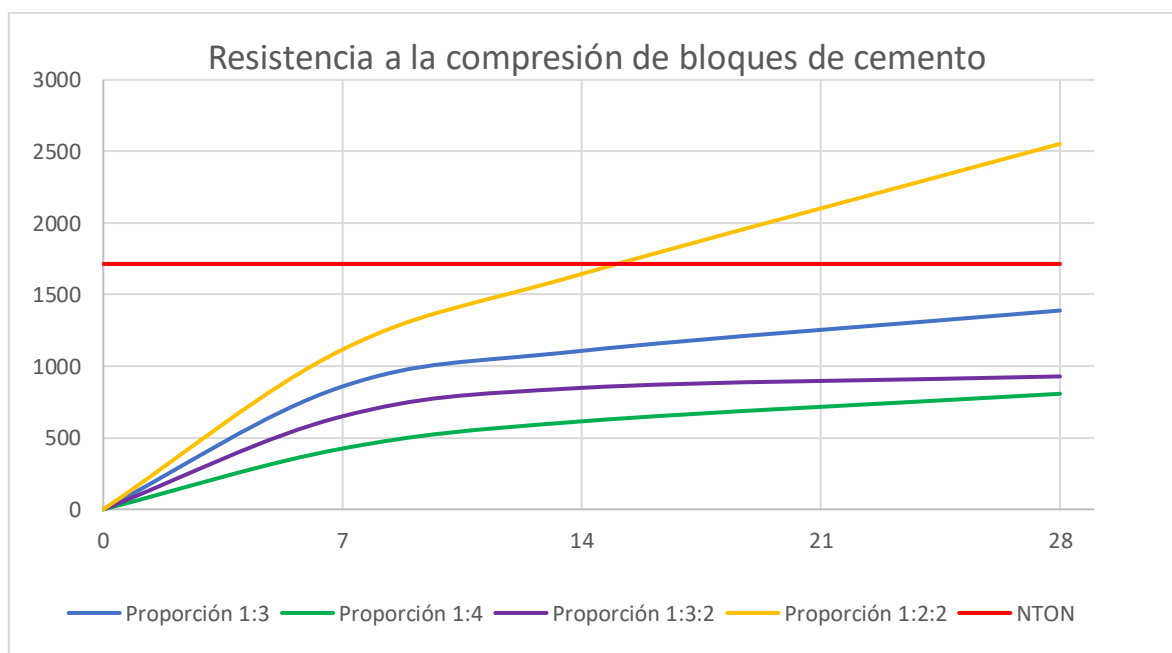
Como se mencionó anteriormente los pesos en condición saturada se muestran mayores que en las de condición seca, esto por la acumulación de agua en los poros de las piezas de concreto.

4.4 Análisis de las propiedades mecánicas de los bloques de concreto y mortero

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión se muestran gráficamente en la figura 19. Se consideran las resistencias a la compresión a los 28 días de edad para bloques de mortero y concreto y la resistencia mínima requerida por la NTON 12 008 – 16.

Los elementos fabricados de mortero con proporciones 1:3 y 1:4 y los de concreto con proporción 1:3:2 quedan por debajo de la referencia (NTON 12 008 – 16) para bloques a base de cemento, no obstante, la proporción 1:2:2 de concreto sobrepasa la resistencia mínima requerida por la norma para piezas de mampostería.

Gráfico 19 Comparación de resistencias a la compresión de bloques de concreto y mortero



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 19 compara los resultados de resistencias a la compresión a los 28 días de edad de los bloques de mortero y concreto. Se observa que los mejores resultados los obtuvieron los bloques de concreto 1:2:2 y los bloques de mortero 1:3, sin embargo, los únicos que cumplen con la NTON 12 008 – 16 son los bloques de concreto 1:2:2.

Se reprodujeron mezclas de concreto 1:2:2 y mezclas de mortero 1:4. Haciendo un análisis comparativo entre ambas dosificaciones podemos ver como sustituyendo dos partes de agregado fino por dos partes de agregado grueso se llegan a obtener mejores resultados.

La sustitución de las dos partes de agregado grueso por agregado fino, aporta significativamente a las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de bloques, pues los elementos fabricados con grava incorporada presentaron un porcentaje promedio de absorción mucho mejor que el de las unidades de mortero, además superan la resistencia mínima requerida por la NTON adquiriendo una resistencia promedio a la compresión de 2552.2 psi.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Una vez realizado el estudio comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de unidades de bloques de concreto con unidades de bloques de mortero, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Las propiedades físico-mecánicas de los componentes de las mezclas de mortero y concreto procedente del banco de materiales “Los Martínez” (agregado fino) y el banco de materiales “Veracruz” (agregado grueso), presentaron un comportamiento adecuado en relación con las especificaciones para agregados finos y gruesos descritos en la ASTM correspondientes para cada propiedad.
- En el caso del agregado fino en estudio, no cumple en su totalidad con los requerimientos granulométricos establecidos por la ASTM C - 33 tendiendo a partículas más finas en los intervalos de 3/8” a la malla N°8 y presentando partículas más gruesas en los intervalos de la N°50 a la N°100, sin embargo, este material puede utilizarse según la NTON 12 008 – 16, siempre y cuando garantice el cumplimiento de las especificaciones del bloque a base de cemento descrito en la norma antes mencionada.
- Se elaboraron mezclas de prueba y se obtuvo que las condiciones óptimas a reproducir en bloques eran para mortero proporción 1:3 y 1:4 con variaciones en relaciones agua/cemento de 0.40, 0.50 y 0.65 para el caso de las mezclas de concreto las condiciones óptimas fueron con proporción 1:3:2 y variaciones en relaciones agua/cemento de 0.60 y 0.70 y para proporción 1:2:2 relación agua/cemento de 0.60.
- Los bloques fabricados con mezclas de mortero y concreto respetan las dimensiones establecidas por la NTON 12 008 - 16, estas piezas no difieren en más de 3 mm en cada una de sus dimensiones.

- Los bloques fabricados con mezclas de mortero no cumplen con los porcentajes de absorción estipulados por la NTON 12 008 – 16 generando resultados que oscilan entre un porcentaje de 13.05% - 20.05%. En el caso de los bloques elaborados con mezclas de concreto, solo la proporción 1:2:2 cumple con la exigencia de la normativa con un porcentaje de absorción de 8.14%.
- La mezcla con proporción 1:2:2 con resistencia de 2552.6 psi a los 28 días es la única mezcla que cumple con el requerimiento mínimo 1714 psi establecido por la NTON 12 008 – 16 para fabricación de bloques a base de cemento, en comparación con las mezclas de mortero que presentaron una resistencia de 1331.7 psi para la proporción 1:3 y 779.0 psi para la proporción 1:4 quedando por debajo de los requerimientos.

5.2 Recomendaciones

Las recomendaciones que se derivan de este estudio son las que se especifican a continuación:

- Se recomienda el uso de los agregados finos procedentes del banco “Los Martínez” y agregados gruesos del banco “Veracruz” para la elaboración de mezclas de mortero y concreto.
- Para la fabricación de bloques de concreto se recomienda elaborar la mezcla de proporción 1:2:2 con relación agua – cemento de 0.39, empleando los mismos materiales utilizados en este estudio.
- En caso de variar las fuentes de materiales para la elaboración de las mezclas, se sugiere realizar estudios previos a los materiales que permitan identificar su utilización adecuada y generar mezclas que cumplan con los requerimientos de las normativas.
- Es recomendable elaborar un estudio económico de la producción de bloques de concreto con la mezcla 1:2:2 y analizar su factibilidad financiera.
- Se recomienda realizar un estudio que permita identificar el comportamiento estructural de las piezas de bloques fabricados con la mezcla de concreto 1:2:2 como parte de un sistema constructivo, para ello se sugieren pruebas de resistencia a compresión axial a pilas de bloques y resistencia a compresión diagonal a muretes de bloques.

Bibliografía

American Society for Testing and Materials ASTM

ASOCRETO Asociación Colombiana de Productores de Concreto 2010

Bloque de Concreto con Refuerzo Integral, Octubre 2008, Roberto merlos y Nicolás Guevara, El Salvador.

CamposCisneros,R.(28denoviembrede2009).Monografías.Obtenidode<http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados.shtml>

Carrasco, F. (2009). UTN Santa Fé. Obtenido dehttp://www.frsf.utn.edu.ar/matero/visitante/bajar_apunte.php?id_catedra=17

CamposCisneros,R.(28denoviembrede2009).Monografías.Obtenidode<http://www.monografias.com/trabajos55/agregados/agregados.shtml>

CEMEX Nicaragua (2019) <https://www.cemexnicaragua.com/web/cemex-nicaragua/productos-y-servicios/cemento/nuestros-cementos/cemento-hidraulico-tipo-gu>

CFE 2001. Manual de Tecnología del Concreto. México, DF. LIMUSA

Grupo ARGOS <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>

Herrera Angélica María y Madrid German Guillermo (2001). Manual de construcción de mampostería de concreto. Colombia: Instituto Colombiano de productores de cemento.

ICONTEC. (2000).NTC174.Concretos. Especificaciones de los Agregados para Concretos. En ICONTEC, Norma Técnica Colombiana. Bogotá: Norma Técnica Colombiana.

IMCYC Instituto Mexicano de Cemento Y Concreto

INCYC Instituto Nicaragüense de Cemento Y Concreto

Instituto Colombiano de productores de cemento. (2009). Materiales de Ingeniera Civil. En M. Mamlouk, Materiales de Ingeniera Civil. Madrid: PEARSON Prentice Hall.

Lindo y Matus Guías de laboratorio de materiales

Matus Lazo Iván y Blanco Marvin Antonio. Apuntes de materiales de construcción.

McCormack (ACI 318-14)- Design of reinforced Concrete 10ed

Merlos y Guevara (2008)

Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON 12 008-09)

Sánchez D. Tecnología del Concreto y del Mortero (2001) ICONTEC

ANEXOS

Anexo I Certificado de Calidad del Cemento Canal



CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

Fecha de Emisión: 12 de Junio de 2018

Producto: CANAL
 Clasificación: GU
 Norma de producción: NTON 12 006-11
 Norma bajo la cual se realizan los ensayos de Resistencia de la Compresión: ASTM C-109
 Norma bajo la cual se realizan los análisis químicos: ASTM C114
 Método mediante el cual se realizan los análisis químicos: XRF
 Fecha de producción: Mes de Mayo 2018

Ensayos Físicos

| Finezas | | Fraguados | |
|-----------------------------------|---------|----------------------|-------|
| Tamiz 325(%Ret.) | 11.70 | Vicat Inicial (min.) | 190.0 |
| Blaine(cm ³ /g) | 4,070.0 | Vicat Final (min.) | 285.0 |
| Resistencia a la compresión (MPa) | | Ensayos varios | |
| | | NTON 12 006-11 | |
| | | — | |
| 3 Días | 12.8 | Exp. Autoclave(%) | 0.02 |
| 7 Días | 19.4 | Flujo de Agua(%) | 110 |
| 28 Días | 29.7 | | |

Este Informe fue firmado por:

Ilc. Juan Antonio Cordoba
 Control de la Calidad
 CEMEX NICARAGUA



SRS-GAC-P-08-F-1

Fuente: CEMEX

Anexo II Certificado de conformidad del agregado grueso

| | | | | | | | |
|---|------------|--|--|-------------|--|--|--|
| AGRENIC | | Complejo Industrial Nindirí Laboratorio Central de Control de Calidad | | | | | |
| Granulometría de Agregado 3/8" Tamaño Nominal (ASTM C 33) | | | | | | | |
| Cliente: | | | | | | | |
| Proyecto: | | | | | | | |
| Tramo: | | | | | | | |
| Producción: | 19/09/2018 | | | Cantidad m³ | | | |
| Ensayo | 19/09/2018 | | | Factura N° | | | |
| Retiro: | | | | | | | |

| Tamiz | Abertura mm | Peso Retenido | Peso Ret. Acumulado | % Retenido Acumulado | % que Pasa | Especificación ASTM C-33 N° 7 | | Humedad | |
|-------|-------------|---------------|---------------------|----------------------|------------|-------------------------------|-----|--------------------|---------|
| 1/2" | 12.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | 100 | 100 | P. Humedo | 100 |
| 3/8" | 9.5 | 6.3 | 6.3 | 0.23 | 99.8 | 90 | 100 | P. Seco | 100 |
| # 4 | 4.75 | 1,949.7 | 1,956.0 | 72.8 | 27.2 | 20 | 55 | % Humedad | 0.00 |
| # 8 | 2.36 | 444.4 | 2,400.4 | 89.4 | 10.6 | 5 | 30 | Peso de la muestra | |
| # 16 | 1.18 | 88.7 | 2,489.1 | 92.7 | 7.3 | 0 | 10 | P.H Muestra | 2686.30 |
| # 50 | 0.3 | 56.6 | 2,545.7 | 94.8 | 5.2 | 0 | 5 | P.S Muestra | 2686.30 |

Curva Granulométrica de 3/8" para Concreto R2

| | |
|-----------------|-------|
| % Desgaste | 27 |
| Peso específico | 2.758 |
| % Absorción | 1.70 |
| PVSS, kg/m³ | 1,476 |

Realizado por: Fabricio Novoa

Ing. Marvin Zúniga.
Resp. Laboratorio.

Fuente: AGRENIC

Anexo III

Tabla 1. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado.

| Revenimiento | Tamaño máximo de la grava (mm) | | | | | | | |
|---|--------------------------------|------------|----------|------------|----------|------------|------------|------------|
| | 9.5 | 12.5 | 19 | 25 | 38 | 50 | 75 | 150 |
| Concreto sin aire incluido | | | | | | | | |
| 2.5 > 5 | 207 | 199 | 190 | 179 | 166 | 154 | 130 | 113 |
| 7.5 > 10 | 228 | 216 | 205 | 193 | 181 | 169 | 145 | 124 |
| 15 > 17.5 | 243 | 228 | 216 | 202 | 190 | 178 | 160 | ... |
| Aire atrapado aprox. (%) | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| Concreto sin aire incluido | | | | | | | | |
| 2.5 > 5 | 181 | 175 | 168 | 160 | 150 | 142 | 122 | 107 |
| 7.5 > 10 | 202 | 193 | 184 | 175 | 165 | 157 | 133 | 119 |
| 15 > 17.5 | 216 | 205 | 197 | 174 | 174 | 166 | 154 | ... |
| Promedio recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%) | | | | | | | | |
| Exposición ligera | 4.5 | 4 | 3.5 | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 | 1 |
| Exposición moderada | 6 | 5.5 | 5 | 4.5 | 4.5 | 4 | 3.5 | 3 |
| Exposición severa | 7.5 | 7 | 6 | 6 | 5.5 | 5 | 4.5 | 4 |

Fuente: ACI 211.1 – 91, Diseño de mezclas de concreto

Tabla 2 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

| F'c | F'cr |
|--------------|-------------|
| Menos de 200 | F'c + 70 |
| 210 – 350 | F'c + 84 |
| >350 | F'c + 98 |

Fuente: ACI 211.1 – 91

Tabla 3. Volumen de agregado grueso (m^3) por volumen unitario de concreto

| Tamaño máximo del agregado (mm) | Módulo de finura de la arena | | | |
|---------------------------------|------------------------------|------|------|------|
| | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 9.5 | 0.50 | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.5 | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 19 | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25 | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 37.5 | 0.75 | 0.73 | 0.71 | 0.69 |
| 50 | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 75 | 0.82 | 0.80 | 0.78 | 0.76 |
| 150 | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Fuente: ACI 211.1 – 91, Diseño de mezclas de concreto

Tabla 4 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto

| Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm^2 | Relación agua/cemento por peso | |
|--|--------------------------------|----------------------------|
| | Concreto sin aire incluido | Concreto con aire incluido |
| 6000 | 0.41 | - |
| 5000 | 0.48 | 0.40 |
| 4000 | 0.57 | 0.48 |
| 3000 | 0.68 | 0.59 |
| 2000 | 0.82 | 0.74 |

Fuente: ACI 211.1 – 91, Diseño de mezclas de concreto

Anexo IV

Diseños de mezclas de concreto

Proporción 1:3:2 R a/c 0.60

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 3 | M3 |
| grava | 2 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 4356 | Kg |
| Agua | 678 | Kg |
| grava | 2920 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 1.607 | M3 |
| Grava | 1.003 | M3 |
| Agua | 0.678 | M3 |
| Vol. De mezcla | 3.649 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.099 | M3 |
| Arena | 0.441 | M3 |
| Grava | 0.275 | M3 |
| Agua | 0.186 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 309.70 | Kg |
| Arena | 1193.85 | Kg |
| Agua | 185.82 | Kg |
| Grava | 800.29 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 290.36 | Kg |

Fuente: Elaboración propia

Proporción 1:5:2 R a/c 0.60

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 5 | M3 |
| grava | 2 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 7260 | Kg |
| Agua | 678 | Kg |
| grava | 2920 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 2.679 | M3 |
| Grava | 1.003 | |
| Agua | 0.678 | M3 |
| Vol. De mezcla | 4.720 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.076 | M3 |
| Arena | 0.568 | M3 |
| Grava | 0.213 | M3 |
| Agua | 0.144 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 239.39 | Kg |
| Arena | 1538.05 | Kg |
| Agua | 143.64 | Kg |
| Grava | 618.61 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 271.26 | Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Proporción 1:5:2 R a/c 0.70

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 5 | M3 |
| grava | 2 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 7260 | Kg |
| Agua | 791 | Kg |
| grava | 2920 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 2.679 | M3 |
| Grava | 1.003 | M3 |
| Agua | 0.791 | M3 |
| Vol. De mezcla | 4.833 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.074 | M3 |
| Arena | 0.554 | M3 |
| Grava | 0.208 | M3 |
| Agua | 0.164 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 233.80 | Kg |
| Arena | 1502.09 | Kg |
| Agua | 163.66 | Kg |
| Grava | 604.15 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 288.30 | Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Proporción 1:2:2 R a/c 0.60

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 2 | M3 |
| grava | 2 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 2904 | Kg |
| Agua | 678 | Kg |
| grava | 2920 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 1.072 | M3 |
| Grava | 1.003 | |
| Agua | 0.678 | M3 |
| Vol. De mezcla | 3.113 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.116 | M3 |
| Arena | 0.344 | M3 |
| Grava | 0.322 | M3 |
| Agua | 0.218 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 363.01 | Kg |
| Arena | 932.89 | Kg |
| Agua | 217.80 | Kg |
| Grava | 938.03 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 304.84 | Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Diseños de mezclas de mortero

Proporción 1:3 R a/c 0.40

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 3 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 4356 | Kg |
| Agua | 452 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 1.607 | M3 |
| Agua | 0.452 | M3 |
| Vol. De mezcla | 2.419 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.149 | M3 |
| Arena | 0.664 | M3 |
| Agua | 0.187 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 467.09 | Kg |
| Arena | 1800.56 | Kg |
| Agua | 186.83 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 323.86 | Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Proporción 1:3 R a/c 0.50

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 3 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 4356 | Kg |
| Agua | 565 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 1.607 | M3 |
| Agua | 0.565 | M3 |
| Vol. De mezcla | 2.532 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.142 | M3 |
| Arena | 0.635 | M3 |
| Agua | 0.223 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 446.24 | Kg |
| Arena | 1720.21 | Kg |
| Agua | 223.12 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 354.03 | Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Proporción 1:3 R a/c 0.65

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 3 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 4356 | Kg |
| Agua | 734.5 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 1.607 | M3 |
| Agua | 0.735 | M3 |
| Vol. De mezcla | 2.702 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.133 | M3 |
| Arena | 0.595 | M3 |
| Agua | 0.272 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 418.25 | Kg |
| Arena | 1612.29 | Kg |
| Agua | 271.86 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 394.56 | Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Proporción 1:4 R a/c 0.40

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 4 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 5808 | Kg |
| Agua | 452 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 2.143 | M3 |
| Agua | 0.452 | M3 |
| Vol. De mezcla | 2.955 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.122 | M3 |
| Arena | 0.725 | M3 |
| Agua | 0.153 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 382.40 | Kg |
| Arena | 1965.45 | Kg |
| Agua | 152.96 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 302.53 | Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Proporción 1:4 R a/c 0.50

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 4 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 5808 | Kg |
| Agua | 565 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 2.143 | M3 |
| Agua | 0.565 | M3 |
| Vol. De mezcla | 3.068 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.117 | M3 |
| Arena | 0.699 | M3 |
| Agua | 0.184 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 368.31 | Kg |
| Arena | 1893.06 | Kg |
| Agua | 184.16 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 328.22 | Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Proporción 1:4 R a/c 0.65

| 1. Volumen suelto de los materiales | | |
|--|--------------|------------------|
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1 | M3 |
| Arena | 4 | M3 |
| 2. Pesos de materiales por proporciones | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 1130 | Kg |
| Arena | 5808 | Kg |
| Agua | 734.5 | Kg |
| 3. Volumen sólido de los materiales | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.360 | M3 |
| Arena | 2.143 | M3 |
| Agua | 0.735 | M3 |
| Vol. De mezcla | 3.238 | M3 |
| 4. Volumen sólido para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 0.111 | M3 |
| Arena | 0.662 | M3 |
| Agua | 0.227 | M3 |
| Vol. De mezcla | 1.000 | M3 |
| 5. Pesos de los materiales para un metro cúbico | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Cemento | 349.03 | Kg |
| Arena | 1793.95 | Kg |
| Agua | 226.87 | Kg |
| 6. Corrección por absorción | | |
| Material | Cantidad | Unidad de medida |
| Agua | 363.39 | Kg |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo V

Determinación de la muestra según tamaño del lote

| Tamaño del lote | Tamaño mínimo de la muestra para: | | |
|-----------------|--|--------------------------------------|------------------|
| | Dimensiones y resistencias a la compresión | Absorción, área neta y peso unitario | Total de muestra |
| Menor a 10000 | 6 | 3 | 9 |
| 10001 a 50000 | 10 | 6 | 16 |
| 50001 a 100000 | 14 | 9 | 23 |
| Mayor a 100000 | 10 unidades por cada 50000 unidades o fracción de lote | 6 | N/A |

Fuente: NTON 12 008 - 16